

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ENVIRONNEMENT

PAR
WISI YONNI OSSAVU

RÉDUCTION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES REJETS DE PAPIER
EN IMPRIMERIE PAR L'AJOUT D'ADDITIFS DE CONTRÔLE DU
PELUCHAGE

MARS 2010

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon directeur, Claude Daneault, Ph. D. ainsi que mon co-directeur François Brouillette, Ph. D. pour leur confiance, leur support et leur patience tout au long de mon projet de recherche. Merci de m'avoir permis de développer mon esprit d'initiative et mon esprit critique.

Je voudrais également remercier le CRSNG et la Chaire industrielle Ciba sur les produits chimiques papetiers pour l'aide financière ainsi que les usines Kruger Trois-Rivières, Kruger Wayagamack et Matériaux Spécialisés Louiseville pour les échantillonnages que j'ai pu réaliser.

Je souhaiterais souligner la collaboration du personnel, des étudiants et des post-doctorants du CIPP pour leur disponibilité lorsque j'avais besoin d'assistance. Un merci tout particulier à la technicienne Josée Doucet pour la réalisation de tests et la compilation de données. Merci au post-doctorant Otman Oulanti pour ses conseils judicieux, son soutien et à Driss Lebibi pour son assistance technique.

Une pensée tout particulière à ma fiancée Yvana pour avoir su trouver les mots pour me motiver dans les temps difficiles. Je n'oublie pas les membres de ma famille, ma mère, mon père, mon grand frère Fabrice, mes amis d'ici et du Gabon qui n'ont jamais douté de mes capacités.

Je ne saurais finir sans remercier Dieu Tout puissant, sans qui je crois, rien n'est possible. Il a su me montrer le chemin à suivre et faire de moi la personne que je suis.

Mars 2010

RÉSUMÉ

Le millénaire dans lequel nous sommes est marqué par des défis majeurs pour beaucoup d'industries. L'industrie de l'impression de par les retombées économiques qu'elle génère fait partie des industries dont la croissance s'effectue à une vitesse étonnante. Les presses d'impression n'ont cessé de se transformer au fil des années passant de la traditionnelle presse de Gutenberg à la presse offset Heidelberg Speedmaster 54-2 à la fine pointe de la technologie.

Dans ce contexte technologique marqué par la mondialisation, l'une des préoccupations capitales du fabricant de papier est de garantir un produit de qualité irréprochable pour l'imprimeur. Ce défi doit non seulement tenir compte des progrès technologiques, mais aussi des modifications naturelles subies par les essences de bois utilisés dans le contexte de la fabrication du papier. À l'heure actuelle, l'industrie de l'impression fait face à de nombreux problèmes liés à une difficulté de pouvoir maintenir durant certains processus d'impression, une qualité d'imprimé à la mesure des attentes du client. Ce phénomène est tel que dans certains cas, il se traduit par d'impressionnantes quantités de papier rejeté à cause de la perte de qualité qui apparaît lors de l'impression de grands volumes de papier. Le peluchage constitue, à l'heure actuelle, un cauchemar pour les imprimeurs utilisant le procédé d'impression offset. De plus, lorsqu'il devient excessif, le peluchage engendre une réduction de la qualité de l'image, une baisse de l'imprimabilité du papier et de productivité de la presse.

À travers une revue de la littérature liée à la recherche de solutions au peluchage, nous constatons qu'au fil des années, les tentatives de réduction autant mécanique que chimique de ce problème ont eu très peu d'effets encourageants. Par contre, les impacts environnementaux sont nombreux : perte d'énergie, pollution atmosphérique liée au transport, rejets générés par le désencrage et la remise en pâte pour ne citer que ceux-là. Dans la mesure où il a été démontré qu'un papier fabriqué dans des conditions dites BPF (bonnes pratiques de fabrication) est capable de pelucher une fois introduit dans le

processus d'impression, il y a donc matière à analyser la fabrication de ce papier. À cet effet, il est intéressant d'investiguer en profondeur dans le processus de fabrication du papier. Dans ce sens, la présente recherche évalue les facteurs propices au développement du peluchage ainsi que les additifs chimiques capables de faire régresser ce problème.

Afin d'atteindre les objectifs de recherche fixés, nous avons dans un premier temps simulé des pâtes à potentiel peluchant élevé en enrichissant nos échantillons avec des fibres fines (R200), de longues fibres faiblement raffinées (R28) et de la glaise. Cette simulation avait pour but de déterminer l'effet de ces éléments sur le peluchage. Ensuite, une fois les échantillons à potentiel peluchant identifiés, nous avons sélectionné des paramètres de calandrage (température = 75°C et pression = 150 kN/m) puis procédé à divers dosages d'additifs (0,5 à 5 mg additif/g papier) afin d'évaluer le mode d'action de chaque additif. Ceci dans l'objectif d'associer l'additif le plus approprié à chaque cause de peluchage. Cinq additifs et une glaise modifiée ont été évalués. Les additifs que nous avons utilisés sont retrouvés sous les formes suivantes : un amidon cationique liquide, une émulsion cire cationique, des esters de phosphate purs (mono-C18) et un mélange d'esters de phosphate.

Les résultats obtenus par l'ajout de fines, de longues fibres R28 et de glaise ont permis d'observer une oscillation des valeurs de peluchage dépendamment de la pâte utilisée. Le potentiel de peluchage semble très peu influencé par la température de calandrage. Toutefois, la pression de calandrage ainsi la présence de fines diminue le potentiel global de peluchage. La tendance liée à la présence de fibres R28 et de glaise semble augmenter le potentiel de peluchage. Le potentiel de peluchage de la pâte thermomécanique est plus élevé que celui de la pâte mécanique. Finalement, dans certains cas, les additifs que nous avons utilisés lors de notre projet se sont avérés efficaces dans la réduction du peluchage des pâtes à haut potentiel peluchant. L'ester de phosphate mono-C18 et le mélange d'esters de phosphate ont réduit le potentiel de peluchage des échantillons contenant 10% de fines. L'amidon cationique liquide a réduit le potentiel peluchant des échantillons contenant 10% et 50% de fines. L'émulsion cire cationique n'a montré

aucune efficacité dans la réduction du potentiel de peluchage. L'usage de ces additifs accroît la force de surface du papier tout en réduisant les effets nocifs sur l'environnement comme l'émission de composés organiques volatils, les rejets générés par le désencrage, la pollution atmosphérique liée au transport pour ne citer que ceux-là.

MOTS CLÉS

Impression, presse, peluchage, offset, imprimabilité, mécanique, chimique, impacts, environnement, fibres, fines, calandrage, additifs.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|--|------|
| REMERCIEMENTS | ii |
| RÉSUMÉ | iii |
| LISTE DES FIGURES..... | viii |
| LISTE DES TABLEAUX..... | xi |
| LISTE DES ABRÉVIATIONS | xii |
| CHAPITRE 1 INTRODUCTION | 1 |
| CHAPITRE 2 PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE..... | 6 |
| 2.1 Cadre d'analyse..... | 6 |
| 2.2 Problèmes environnementaux reliés à l'industrie de l'impression | 7 |
| 2.2.1 Composés organiques volatils | 7 |
| 2.2.2 Rejets de papier et peluchage..... | 8 |
| CHAPITRE 3 CADRE CONCEPTUEL..... | 11 |
| 3.1 Notions fondamentales sur le peluchage..... | 11 |
| 3.2 Approche mécanique de réduction du peluchage | 17 |
| 3.3 Approche chimique de réduction du peluchage..... | 26 |
| CHAPITRE 4 MATÉRIELS ET MÉTHODES | 40 |
| 4.1 Échantillonnage..... | 40 |
| 4.2 Production d'échantillons à haut potentiel peluchant | 41 |
| 4.3 Évaluation des additifs anti-peluchant | 46 |
| 4.4 Caractérisation des feuilles | 49 |
| CHAPITRE 5 RÉSULTATS ET DISCUSSION | 52 |
| 5.1 Analyse descriptive | 52 |
| 5.1.1 Production d'échantillons à potentiel peluchant élevé | 52 |

| | | |
|------------------------------|---|----|
| 5.1.2 | Évaluation des additifs antipeluchants..... | 61 |
| 5.2 | Analyse relationnelle..... | 70 |
| 5.2.1 | Corrélation des rejets de papier en imprimerie avec la pollution environnementale qui en découle | 70 |
| 5.2.2 | Degré de pollution des esters de phosphate présents dans l'eau blanche – Étude de cas..... | 72 |
| CHAPITRE 6 CONCLUSIONS | | 74 |
| 6.1 | Apports et retombées de la recherche | 74 |
| 6.2 | Limites de la recherche | 75 |
| 6.3 | Suggestions pour les recherches futures | 75 |
| BIBLIOGRAPHIE | | 77 |
| ANNEXES | | 85 |

LISTE DES FIGURES

| | | |
|------------|---|----|
| Figure 1.1 | Part relative des procédés d'impression commerciale en 2005..... | 1 |
| 1.2 | Schéma (a) d'une presse heatset offset et (b) du système d'encrage. | 2 |
| 1.3 | Représentation des différents types d'arrachage des fibres..... | 3 |
| 1.4 | Illustration des dépôts fibreux accumulés sur le cylindre blanchet. | 5 |
| 2.1 | Matériel peluchant typique dans les années 1970 (gauche) et de nos jours (droite). | 9 |
| 2.2 | Présence de dépôts fibreux sur le cylindre blanchet..... | 10 |
| 3.1 | Tack de l'encre au niveau du point de contact d'impression. | 13 |
| 3.2 | Mécanisme de développement de la fibre lors du raffinage..... | 15 |
| 3.3 | Effet des fibres fines sur la force de surface. | 16 |
| 3.4 | Effet des fibres fines sur la rugosité. | 16 |
| 3.5 | Effet de la température sur l'épaisseur et l'organisation du réseau fibreux du papier. | 18 |
| 3.6 | Image au microscope électronique à balayage du dessous et de la tranche d'une feuille de papier journal calandree à une densité de 1,6 g/cm ³ (a) calandrage conventionnel, (b) calandrage à gradient de température. | 19 |
| 3.7 | Effet de la température de calandrage et de la pression sur le peluchage à 18, 100 et 230°C..... | 20 |
| 3.8 | Effet de la rugosité du blanchet sur le peluchage sur presse Apollo après 5000 impressions. | 24 |
| 3.9 | Part relative des groupes d'additifs chimiques et de matières premières utilisés pour le papier et la production en 2004..... | 26 |
| 3.10 | Part relative des groupes des classes d'additifs chimiques utilisés pour le papier et la production de carton en 2004..... | 27 |
| 3.11 | Feuilles SCB non traitées (gauche) et traitées avec un ester de phosphate (droite)..... | 28 |
| 3.12 | Efficacité de la réduction du peluchage d'ester de phosphate vs émulsions cire aqueuse et amidon cationique traditionnel..... | 29 |
| 3.13 | Formule générale des esters de phosphate. | 30 |

| | | |
|------|---|----|
| 3.14 | Répartition de l'usage de l'amidon dans la production de papier et cartons en 2004..... | 31 |
| 3.15 | Formule d'un monomère de base d'un amidon cationique. | 32 |
| 3.16 | Modifications de l'amidon pour les applications humides. | 33 |
| 3.17 | Formule de base d'un coagulant de type polyamine. | 35 |
| 3.18 | Formule d'un polymère cationique de type PAM. | 35 |
| 3.19 | Schématisation de l'hydrolyse des résines conventionnelles SMA. | 36 |
| 3.20 | Schématisation de l'imidisation des résines conventionnelles SMA. | 37 |
| 3.21 | Effet des résines anioniques et cationiques SMA sur les propriétés de peluchage. | 38 |
| 4.1 | Photographie de la calandre. | 44 |
| 4.2 | Conversion en PLI de la pression appliquée en PSIG. | 44 |
| 4.3 | Gradient de la pression appliquée en PLI pour une feuille de 14 cm de diamètre (1200 PSIG). | 45 |
| 4.4 | Bande utilisable sur les échantillons pour l'analyse de peluchage..... | 45 |
| 4.5 | Effet de l'humidité sur les résultats des tests de peluchage pour un échantillon de papier journal et de SCB..... | 50 |
| 4.6 | Méthode de mesure du potentiel de peluchage. | 51 |
| 5.1 | Effet des fines ajoutées sur le potentiel de peluchage | 54 |
| 5.2 | Effet des fibres R28 ajoutées sur le potentiel de peluchage | 55 |
| 5.3 | Effet de la glaise ajoutée sur le potentiel de peluchage..... | 57 |
| 5.4 | Distribution FQA de la quantité de longueur de fibres d'une pâte mécanique..... | 59 |
| 5.5 | Distribution FQA de la quantité de longueur de fibres d'une PTM et de fibres R28 (PTM2) | 59 |
| 5.6 | Réduction du peluchage en fonction des fines ajoutées et de la pression de calandrage pour une PTM à 50°C | 60 |
| 5.7 | Images typiques scannées de la composition des phénomènes d'arrachage (a) et de peluchage (b) sur des feuilles PTM. | 61 |
| 5.8 | Peluchage en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'ester de phosphate mono-C18. | 63 |

| | | |
|------|--|----|
| 5.9 | Peluchage en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'un mélange d'esters de phosphate. | 64 |
| 5.10 | Peluchage en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'amidon cationique liquide. | 66 |
| 5.11 | Mécanisme suggéré d'amplification de la prise en charge des fines par les charges cationiques de l'amidon. | 67 |
| 5.12 | Peluchage en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'émulsion cire coagulant cationique. | 68 |
| 5.13 | Peluchage en fonction de tous les additifs dosés à 0,5 mg/g dans un mélange de PTM contenant 10 % de fines ajoutées. | 69 |
| 5.14 | Peluchage en fonction de tous les additifs dosés à 5 mg/g dans un mélange de PTM contenant 10 % de fines ajoutées. | 69 |
| 5.15 | Cycle de vie du papier et impacts environnementaux associés. | 70 |
| 5.16 | Quantité de NO _x émises dans l'air durant le transport du papier. | 72 |

LISTE DES TABLEAUX

| | | |
|-------------|--|----|
| Tableau 3.1 | Effet des différentes variables du modèle de Plackett-Burman sur le peluchage..... | 25 |
| 4.1 | Plan d'échantillonnage | 41 |
| 4.2 | Classification des fibres en fonction de leur taille | 42 |
| 4.3 | Paramètres de calandrage. | 46 |
| 4.4 | Paramètres considérés pour la fabrication des blancs. | 47 |
| 5.1 | Taux de cendres obtenus avec les différents échantillons de PTM | 57 |
| 5.2 | Taux de cendres obtenus avec les différents échantillons de PTM | 62 |

LISTE DES ABRÉVIATIONS

| | |
|------|--|
| AC | Amidon cationique |
| C18 | Chaîne carbonée de 18 atomes |
| COV | Composés organiques volatils |
| ECCC | Émulsion cire coagulant cationique |
| EP | Ester de phosphate |
| FQA | Analyseur de la qualité des fibres (Fiber Quality Analyzer) |
| MEP | Mélange d'esters de phosphate |
| PAM | Polyacrylamide |
| PLI | Pression linéaire appliquée |
| PTM | Pâte thermomécanique |
| PTM2 | Pâte thermomécanique peu raffinée |
| PSI | Livres par pouce carré (Pound per Square Inch) |
| PSIG | Livres par pouce carré, lu sur le manomètre (Pound per Square Inch Gauge) |
| R14 | Fibres de taille supérieure à 1410 μm |
| R28 | Fibres de taille supérieure à 638 μm et inférieure à 1410 μm |
| R200 | Fibres de taille supérieure à 74 μm et inférieure à 149 μm |
| rpm | Rotations par minute |
| SCB | Papier supercalandré de catégorie B |
| SMA | Anhydride styrène maléique (Styrene Maleic Anhydride) |

CHAPITRE 1

INTRODUCTION

Au Canada, l'industrie de l'impression représente 84 000 emplois dans 5 800 établissements [1]. Pendant très longtemps, les imprimeurs ont eu recours à divers procédés d'impression dépendamment du type de travail demandé. Le procédé de lithographie offset, utilisé pour imprimer les magazines, revues et catalogues est le plus important avec plus de 50 % du marché. Les procédés de gravure, flexographie, sérigraphie, typographie, numériques et autres se partagent le reste du marché. La Figure 1.1 donne un aperçu global du pourcentage occupé par chacun des procédés d'impression au Canada pour l'année 2005. Il existe deux types de lithographie offset : l'offset à froid (cold offset) et l'offset à chaud (heatset offset). Le procédé heatset offset se différencie de l'offset à froid par la présence d'une unité de séchage de l'encre dont la température se situe entre 100 et 200°C. L'action de la chaleur assure une prise d'encre rapide et une pénétration minimale de l'encre à l'intérieur du papier. Le résultat est une impression de meilleure qualité. L'encre coldset est peu liquide comparativement à celle du procédé heatset qui est liquide. L'offset à froid est surtout utilisé pour l'impression des journaux.

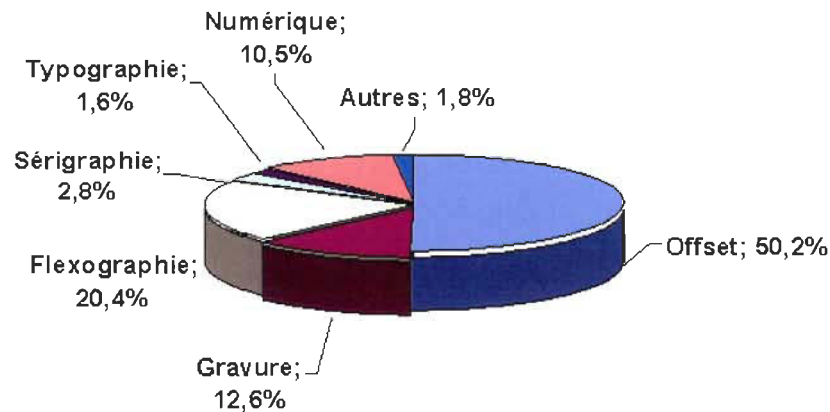
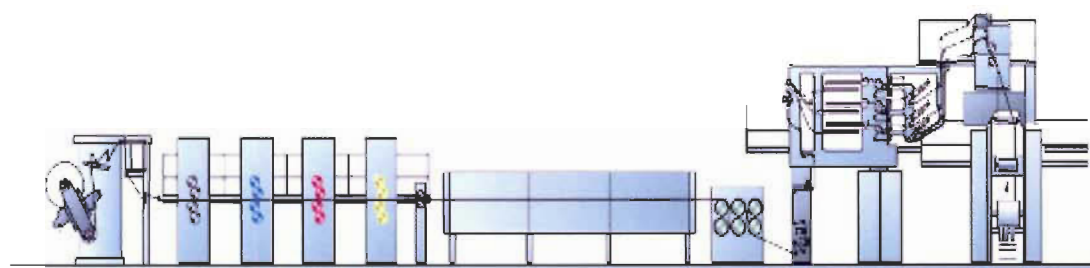
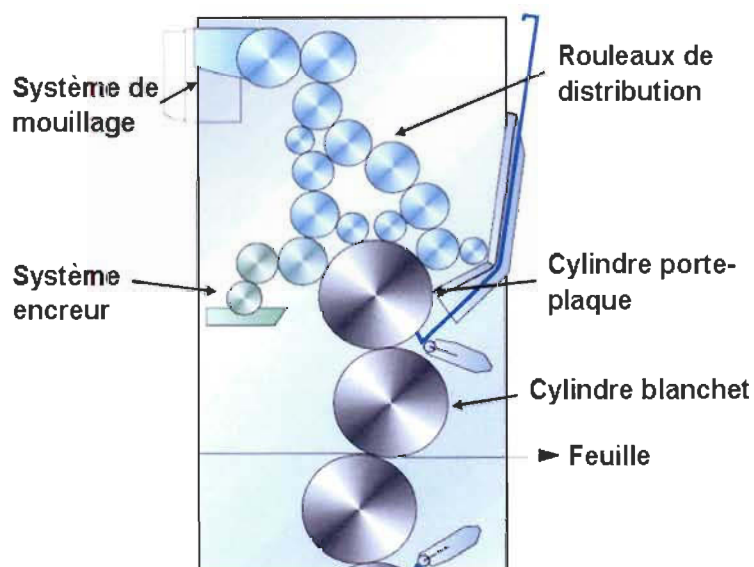


Figure 1.1 Part relative des procédés d'impression commerciale en 2005 [2]

Une presse offset typique est illustrée à la Figure 1.2a. Les deux éléments caractéristiques d'une telle presse sont le système encreur et le système de mouillage (Figure 1.2b). On peut aussi noter la présence du cylindre blanchet situé entre le cylindre porte-plaque et le papier. Le cylindre blanchet contient à sa surface l'image qui doit être transférée sur la feuille au niveau du point de contact. De nos jours, le procédé offset est le « procédé majeur d'impression ». De plus, il offre une gamme de produits de qualité à un coût relativement faible.



(a)



(b)

Figure 1.2 Schéma (a) d'une presse heatset offset et (b) du système d'encrage [3].

Toutefois, il subsiste au cours de l'impression par ce type de procédé offset, un rejet de papier important à mettre sur le compte d'une mauvaise adéquation entre les trois composantes fondamentales de l'impression :

- la presse ;
- le substrat (papier) ;
- l'encre.

Le problème proviendrait du fait que l'image avant d'être transférée sur la feuille passe par un intermédiaire à savoir le cylindre blanchet. C'est d'ailleurs là que la plupart des dépôts fibreux se forment et s'accumulent durant le processus d'impression. Il faut aussi noter les arrêts fréquents de la presse pour le lavage. Il existe aussi une hypothèse liée à la solution de nettoyage du cylindre blanchet qui pourrait le rendre trop « tirant » [4].

Il existe trois types d'arrachage des fibres de papier selon la force appliquée. Ces trois types sont contenus dans la Figure 1.3.


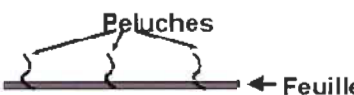

| Type d'arrachage | Force | Représentation |
|------------------|---------|--|
| Poussiérage | Faible |  |
| Peluchage | Moyenne |  |
| Arrachage | Élevée |  |

Figure 1.3 Représentation des différents types d'arrachage des fibres

Le peluchage, un des problèmes majeurs du procédé heatset offset, survient lorsque le papier présente des fibres de surface partiellement liées ou lorsqu'il y a adhésion excessive de l'encre au blanchet. Ce problème se traduit par une séparation des fibres libres ou arrachées du papier sous l'effet du tirant d'encre et de la succion du blanchet.

Lorsqu'il devient excessif, le peluchage engendre une réduction de la qualité de l'image et de ce fait, une baisse de l'imprimabilité du papier et de la productivité de la presse. Le problème du peluchage, bien que réduit au fil des années, constitue toujours une préoccupation majeure pour les fabricants de papiers et pour l'industrie de l'impression mais aussi pour les spécialistes en environnement à cause des rejets de papier qu'il engendre [5].

La littérature scientifique fait état de nombreux travaux traitant des moyens de réduire le peluchage. On distingue tout d'abord des approches mécaniques liées à l'opération de la presse offset : pression d'impression, vitesse d'impression, propriétés du blanchet, humidité de la salle d'impression, température de calandrage etc. Ensuite, on retrouve les approches chimiques de réduction du peluchage [6]. Celles-ci sont basées sur l'ajout d'additifs directement dans la masse de la feuille durant la fabrication du papier. Les divers additifs antipeluchants que nous utiliserons durant notre expérimentation se retrouvent sur le marché. Il s'agit d'une émulsion commerciale d'ester de phosphate, d'amidons cationiques à courtes chaînes et de molécules à base de polymères synthétiques telles les émulsions de cire cationique. Nous aurons aussi recours à une solution d'esters de phosphate mono-C18 synthétisés dans les laboratoires de la Chaire industrielle Ciba. La Figure 1.4 ci-dessous illustre l'accumulation de dépôts fibreux à la surface du blanchet.

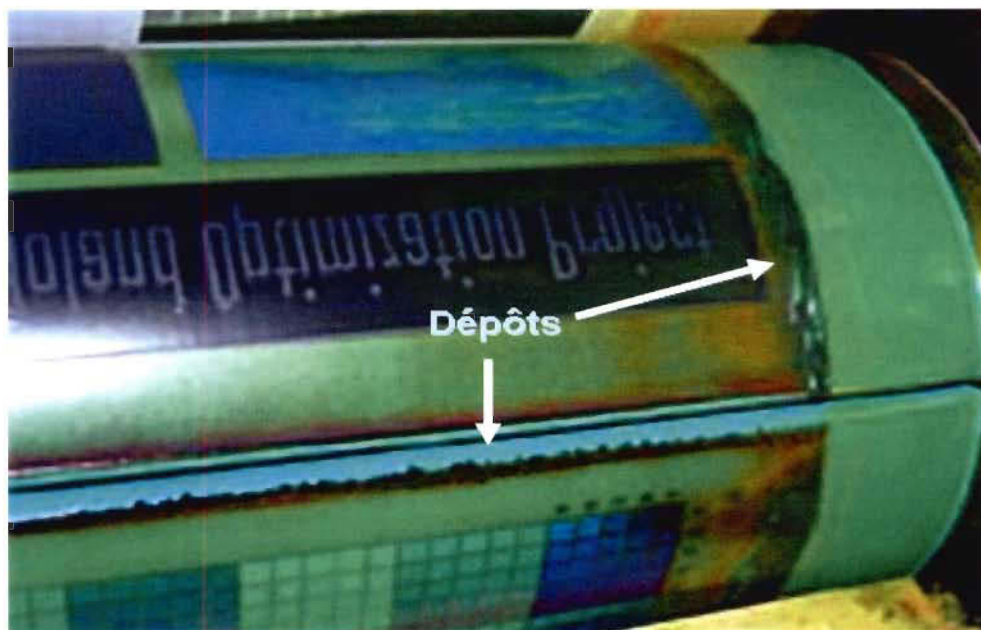


Figure 1.4 Illustration des dépôts fibreux accumulés sur le cylindre blanchet [4].

La présente étude se divise en cinq sections. Dans le premier chapitre, nous présentons le cadre d'analyse, à savoir l'imprimabilité du papier. Puis, nous abordons les problématiques de recherche notamment celle autour de laquelle s'articule notre projet c'est-à-dire les rejets de papiers en imprimerie causés par l'apparition du problème de peluchage. Ensuite, dans le deuxième chapitre, il est question de présenter le cadre conceptuel après la recension de la littérature qui traite des différents moyens de contrôle du peluchage élaborés à ce jour, les paramètres considérés ainsi que les additifs utilisés dans le domaine des pâtes et papiers. Nous décrivons la méthodologie de recherche utilisée dans le troisième chapitre en considérant la production d'échantillons à potentiel peluchant élevé et l'évaluation des additifs antipeluchants utilisés. Le quatrième chapitre est consacré à l'analyse des données et la discussion des résultats obtenus. Finalement, dans le cinquième chapitre, nous présentons les conclusions qui se dégagent de cette expérimentation, soulignons les limites et faisons des suggestions pour les recherches futures.

CHAPITRE 2

PROBLÉMATIQUE DE RECHERCHE

Dans ce premier chapitre, nous ferons tout d'abord une description du cadre d'analyse dans lequel s'effectue notre projet, soit l'imprimabilité du papier. Ensuite, nous aborderons la question des problématiques environnementales liées à l'industrie de l'impression soit les composés organiques volatils et la problématique autour de laquelle s'articule le présent projet, les rejets de papier causés par le peluchage.

2.1 Cadre d'analyse

La notion d'imprimabilité du papier constitue la pierre angulaire de l'industrie de l'impression et des pâtes et papier. Lorsqu'on parle de l'imprimabilité d'un papier, on fait référence à sa capacité d'accepter l'encre, mais aussi et surtout à sa capacité de pouvoir la conserver une fois déposée sur le papier. Le fait de pouvoir conserver l'encre une fois qu'elle est déposée durant le processus d'impression sous-entend que le papier doit alors posséder des propriétés de surface facilitant la pénétration de l'encre à l'intérieur du papier comme la porosité, la rugosité, et l'hydrophobicité. De plus, une fois que le papier se retrouve à l'intérieur du circuit d'impression, celui-ci doit être capable de résister aux différents stress provoqués par l'encre, la presse et les machines connexes.

En 2008, le Québec a généré des ventes de plus de 150 G\$ en matière de bois, papier et impression confondus [7]. La crise manufacturière qui touche durement la province depuis 2005 a forcé l'industrie de l'impression, plus précisément la recherche et développement de ce secteur, à s'armer d'outils efficaces afin de remédier aux défauts d'impression auxquels font face la majorité des établissements utilisant l'offset comme procédé d'impression. Les défauts d'impression récurrents dans certains établissements ont forcé l'industrie papetière à développer des moyens mécaniques efficaces dans les salles d'impression afin de réduire lesdits défauts. Le problème est que les coûts élevés

que cela a engendré ont forcé l'industrie des pâtes et papiers à élaborer des procédés dans le but de fabriquer un papier de meilleure qualité, lequel en arrivant dans le circuit d'impression, aura une meilleure imprimabilité.

En raison de l'importance de l'industrie de l'impression et surtout des retombées économiques colossales qu'elle génère, il devient fondamental qu'une attention particulière soit portée au développement d'additifs efficaces dans l'amélioration de l'imprimabilité du papier lors de longs cycles d'impression.

2.2 Problèmes environnementaux reliés à l'industrie de l'impression

2.2.1 Composés organiques volatils

Il y a dans l'industrie de l'impression un degré de pollution lié aux composés organiques volatils (COV) dont les trois sources sont :

- l'encre ;
- les produits de nettoyages ;
- les composants de la solution fontaine (éthers de glycol par exemple).

Les émissions de COV dans le domaine de l'impression sont reliées à l'évaporation de solvants. Dépendamment du procédé, l'origine de ces émissions pourra être différente : évaporation des solvants contenus dans la formulation des encres liquides, la fraction inhalable des solvants contenus dans les produits de nettoyage, ou ceux composant la solution de mouillage. Ce niveau de pollution fut tel qu'en 1999, un groupe de travail composé de divers représentants du bureau national de la prévention de la pollution (fédéraux, provinciaux et régionaux), de l'industrie de l'impression commerciale et industrielle et de l'environnement ont publié un code de pratique environnementales relativement à la réduction des composés organiques [8]. Les interventions du code sont axées essentiellement sur l'établissement d'objectifs à atteindre en matière de conception et d'efficacité dans le but de réduire les émissions de COV. Il fixe aussi des

recommandations dans les pratiques d'exploitation, la tenue de dossiers et de formation ainsi que l'élaboration de protocoles d'essai.

Dans le cas de la pollution atmosphérique aux COV reliée aux encres, la quantité de COV émise est fonction de la proportion de solvant présente dans l'encre et du type de séchage utilisé. De ce fait, des procédés comme la sérigraphie et l'héliogravure vont générer beaucoup de COV dans la mesure où ils utilisent des encres à forte concentration en solvants et qui sèchent par évaporation. Cependant, les encres épaisses utilisées en offset et en typographie contiennent des diluants d'origines pétrolières très peu volatiles et sèchent principalement par pénétration dans le support. Ces procédés d'impression génèrent donc peu de COV dans l'atmosphère [9].

À ce jour, bien qu'étant relativement faible, le niveau de pollution dans l'industrie de l'impression est quand même présent et tend à augmenter lors d'opérations de nettoyage de longue durée avec des solvants aromatiques de type térébenthine encore couramment utilisé dans certaines imprimeries. L'essence de térébenthine est un mélange de plusieurs molécules d'origine terpénique, d'acides et d'alcool. En imprimerie, l'essence de térébenthine est un solvant favorisant l'élimination des résidus fibreux accumulés sur les cylindres d'impression. Le problème est que l'inhalation prolongée de ce genre de produit peut engendrer des irritations oculaires, nasales et pulmonaires allant jusqu'aux céphalées, nausées, vomissements voire douleurs abdominales [10].

2.2.2 Rejets de papier et peluchage

Les rejets de papier en imprimerie demeurent un problème considérable du point de vue de l'impact environnemental qui en découle. Dans certaines imprimeries, bien qu'il n'existe aucune donnée statistique, ce problème est si important qu'il y a eu nécessité de mettre en place de véritables systèmes de dépollution, recyclage et traitement des déchets. De plus, le coût environnemental de ces imposantes quantités de papier est important : perte d'énergie, effluents générés par la remise en pâte et le désencrage et pollution atmosphérique liée au transport.

Les causes principales du rejet de papier regroupent la gâche qui est la quantité de papier rejetée pendant la phase de réglage de la presse et les problèmes de qualité d'impression. L'arrachage des fibres à la surface du papier ou peluchage est un problème majeur de qualité d'impression. Le peluchage, classé souvent en tête de liste des problèmes d'impression, est défini comme la tendance des fibres et particules de s'arracher de la surface du papier au cours d'opérations d'impression et de s'accumuler de ce fait sur les cylindres d'impression et les blanchets [6].

Dans les années 1970, l'analyse microscopique d'une peluche présente sur un imprimé permettait de mettre en relief la présence de fibres grossières appelées communément des « bûchettes » (Figure 2.1a). De nos jours, un échantillon de matériel peluchant est plutôt composé de cellules de rayons médullaires qui sont des fibres longitudinales issues du raffinage et possédant un faible potentiel de liaison fibre-fibre (Figure 2.1b). Cette différence de matériel observée entre l'analyse microscopique de 1970 et celle de nos jours est reliée à l'amélioration des procédés de raffinage et de tamisage de la pâte. Le matériel de peluchage est donc composé de débris fibreux, « bûchettes », cellules de rayons médullaires c'est-à-dire de particules à faible potentiel de liaison [6]. Une fois présent dans le circuit d'impression on retrouvera aussi des charges et des pigments d'encre à l'intérieur du dépôt fibreux.

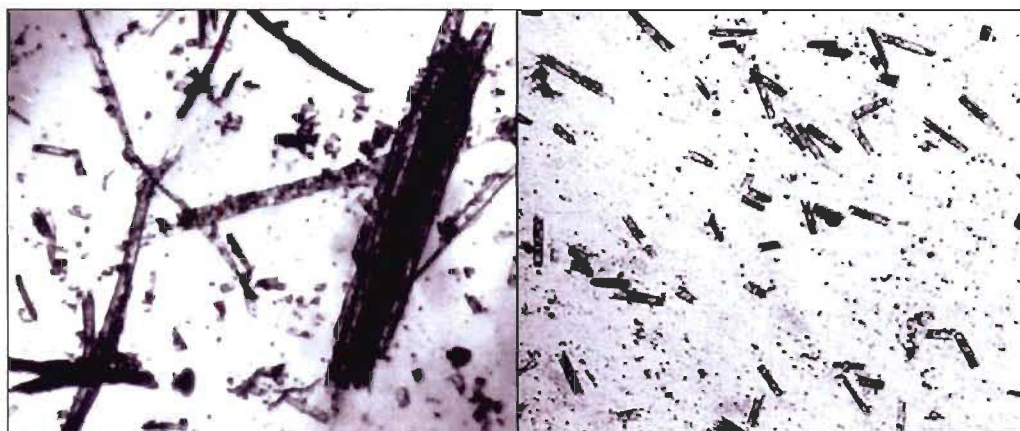


Figure 2.1 Matériel peluchant typique dans les années 1970 (gauche) [11] et de nos jours (droite) [12].

Le peluchage est à l'origine de multiples arrêts de la presse à cause du nettoyage aux solvants qui doit être effectué lors de l'accumulation de dépôts fibreux sur le cylindre blanchet (Figure 2.2).



Figure 2.2 **Présence de dépôts fibreux sur le cylindre blanchet [13].**

Le peluchage peut être contrôlé par deux approches, mécanique ou chimique. Le contrôle chimique est particulièrement avantageux lorsque les facteurs à l'origine de l'apparition du peluchage, pour un papier spécifique, sont difficilement identifiables. Cette approche basée sur l'ajout d'additifs directement dans la pâte dans le but de traiter la surface de la feuille a permis de réduire ce problème au fil des années. Cependant, le peluchage constitue toujours une préoccupation majeure pour les fabricants de papiers de l'industrie de l'impression. En outre, la littérature sur ce thème demeure peu courante et les exemples de succès anecdotiques [6].

CHAPITRE 3

CADRE CONCEPTUEL

Dans ce chapitre, nous traiterons dans un premier temps des notions fondamentales sur le peluchage. Puis, nous effectuerons une revue de la littérature autour des deux aspects de contrôle de peluchage : mécanique et chimique. Il sera question d'aborder les notions et concepts relevant de l'approche mécanique ainsi que les paramètres considérés. Puis nous aborderons la question de réduction de peluchage à l'aide d'additifs à travers l'approche chimique. Il sera question dans cette partie, d'élaborer et énoncer les additifs utilisés sur le marché et leur efficacité.

3.1 Notions fondamentales sur le peluchage

Le peluchage constitue un problème majeur pour les producteurs de papier journal et autres grades de papiers à forte teneur en pâte mécanique et thermomécanique. La première difficulté dans la résolution de la problématique du peluchage est reliée au procédé d'impression offset avec ces douzaines de variables comme :

- configuration de la presse : vitesse, diamètre des rouleaux d'impression, angle de décollement au point de contact etc. ;
- blanchet : dureté, compressibilité, rugosité etc. ;
- cylindre porte-plaque : degré de microrugosité ;
- encre : collant, viscosité, et niveau d'émulsification ;
- solution fontaine : quantité, viscosité, tension de surface et conductivité.

Durant l'impression, des dépôts d'origine différente (encre, fibres grossières...) vont s'accumuler sur le cylindre blanchet, le système encreur et le cylindre porte plaque. L'accumulation de ces dépôts au niveau des unités mentionnées plus haut aura comme

conséquence, une baisse de la qualité d'impression pouvant aboutir dans certains cas au bris du cylindre blanchet [5]. La notion de peluchage peut être décrite comme provenant de trois dérivés qui vont aboutir à l'enlèvement de fibres à la surface du papier pendant l'impression [14]. Ces trois dérivés sont :

- l'arrachage
- l'écoulement libre
- l'écoulement en surface

Le peluchage est un problème spécifique à l'impression offset à cause de la viscosité des encres propres à ce procédé et aussi l'utilisation de plusieurs stations de couleurs, constituant un stress supplémentaire à la surface de la feuille. Le peluchage se manifeste habituellement par l'arrachage de matériel rattaché à la feuille en raison du fait que l'encre soit collante à la sortie du film d'encre pendant l'impression. La détérioration de la qualité de l'image se caractérise par le fait que les particules arrachées vont se déposer sur le blanchet et contaminer la plaque d'impression et l'encre. En outre, l'encre et plus précisément son collant ou « tack » peut entraîner des problèmes d'arrachage de matériel faiblement lié à la surface de la feuille [6]. Sur presse heatset offset, le collant de l'encre influence beaucoup le peluchage du côté feutre d'échantillons de feuilles à base de pâte thermomécanique (PTM) imprimées. Sur le côté toile, cependant, un niveau similaire de collant élevé a moins d'effet que sur le côté opposé. En impression multicolore utilisant plusieurs stations, deux effets majeurs peuvent être observés. Le premier est que l'impression au point de contact nettoie la surface en laissant moins de matériel à enlever lors du passage à la prochaine station. Le deuxième effet concerne l'action physique qui intervient au point de contact et la perte de matériel au niveau de la solution fontaine sur les stations précédentes. Ce même matériel pouvant être aisément enlevé au niveau des stations situées plus loin sur la presse [13]. La Figure 3.1 illustre le comportement d'une encre à fort tirant au niveau du point de contact d'impression.

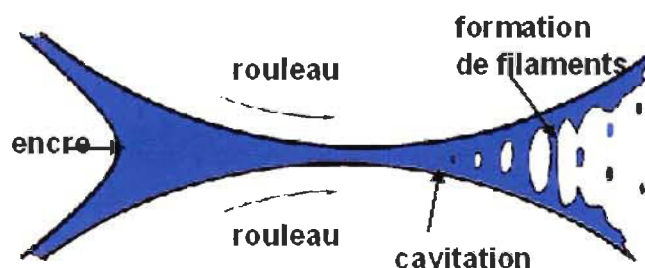


Figure 3.1 Tack de l'encre au niveau du point de contact d'impression [4].

On définit comme collant de l'encre, la force requise pour séparer à vitesse précise deux plans de liquide d'une surface unitaire. Le collant est fortement corrélé à la viscosité de l'encre : rapport de la contrainte de cisaillement par le taux de cisaillement. La pression résultante constitue la pression de cavitation. Cette relation dite Loi de Stefan a été généralisée comme suit [14] :

$$T = K \frac{A V_s \eta^n}{X^m}$$

- T = temps mesurée en seconde
- V = vitesse mesurée
- η = viscosité mesurée en Pa.s
- A = zone de contact

Basé sur cette relation on note que l'augmentation du collant de l'encre ou de sa viscosité crée plus de peluchage.

Lorsqu'on porte une attention particulière au potentiel de liaison du matériel fibreux présent à l'intérieur de la feuille, on se rend compte que dans la fabrication de la pâte c'est la qualité et l'énergie spécifique de surface des fibres qui serait en cause. En effet, il a été démontré que les pâtes possédant une faible énergie spécifique de surface sont sujettes au peluchage. L'élaboration de l'index de tendance au peluchage d'une pâte (Pulp Linting Propensity Index ou PLPI) a permis de prédire la présence des fibres susceptibles de pelucher à partir d'un principe de séparation des fibres en fonction de

leur surface (superficie). Les causes possibles de la tendance au peluchage d'une pâte mécanique pauvre sont [6] :

- énergie spécifique de surface insuffisante ;
- répartition non uniforme des fibres de bois ;
- conditions de mise en pâte instables ;
- criblage, nettoyage et raffinage inadéquats.

Basé sur une analyse multi variée, on est capable de prédire qu'une pâte produite avec du bois frais de « meilleure qualité » à l'exemple de l'épinette noir possède une faible tendance au peluchage. À l'aide de ce dispositif, ils ont été en mesure d'évaluer la tendance au peluchage avant la fabrication du papier. Le matériel de peluchage prédominant obtenu est composé de cellules de rayons médullaires. Il s'agit de fibres longitudinales issues du raffinage et possédant un faible potentiel de liaison [15]. Les échantillons de feuilles à faible tendance au peluchage contiennent une faible proportion de peluches grossières et une forte concentration de peluches fines de type cellules de rayons médullaires [12]. Un raffinage plus uniforme jumelé à un haut niveau d'énergie spécifique tend à réduire le peluchage [16].

Le développement inadéquat de la surface des fibres ainsi que le niveau d'énergie spécifique de surface des fibres sont des facteurs importants dans le phénomène de peluchage. Il existe une relation entre les faibles taux de peluchage et l'énergie de surface spécifique de certaines fibres qui proviennent du raffinage. Une forte énergie spécifique de surface entraînera une meilleure liaison des fibres et de ce fait une baisse de la tendance au peluchage. Des travaux ont permis de mettre en évidence une forte corrélation entre le contenu d'une pâte en longues fibres (fraction R14) et une diminution de la tendance au peluchage. Un raffinage qui s'effectuerait dans des conditions stables favoriserait la production de longues fibres et une baisse de la tendance au peluchage [6].

Le mécanisme d'« épluchure » de la fibre de bois durant le raffinage a été longuement étudié par Karnis. Ce mécanisme suggère qu'on peut aboutir à deux patrons lors de la réduction de la grossièreté des fibres. Le premier est qu'on obtienne à partir de la longue fibre, des fibres plus courtes et des fines. Le deuxième patron est que la longue fibre subisse une délamination aboutissant à la formation de longues fibres, de courtes fibres et des fines [16] (Figure 3.2).

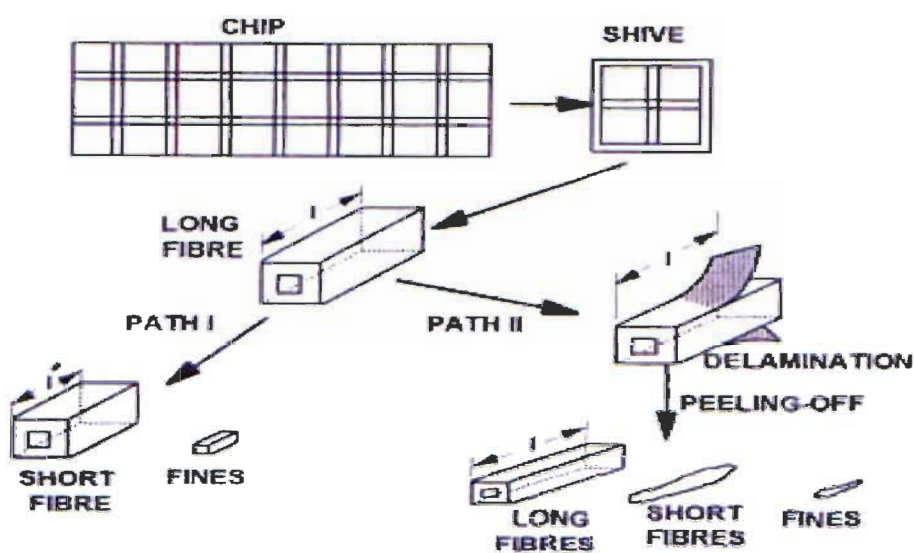


Figure 3.2 Mécanisme de développement de la fibre lors du raffinage [16].

Les fines vont permettre, grâce à leur énergie spécifique de surface élevée, de consolider les liens et par le fait même d'améliorer la qualité de la pâte à forte tendance au peluchage [6].

L'évaluation de l'effet des fines sur la force physique du papier journal offset a montré l'efficacité des fines sur la réduction du peluchage. À l'aide de formettes multicouche, cette évaluation a mis en évidence le fait que la force de surface du papier augmentait avec l'augmentation du contenu en fines (Figure 3.3) [17].

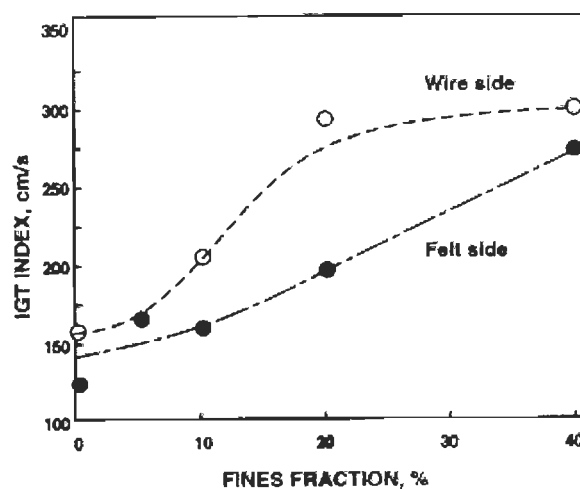


Figure 3.3 Effet des fibres fines sur la force de surface [18].

Il faut aussi souligner le fait que la rugosité diminue lorsque le contenu en fines augmente (Figure 3.4).

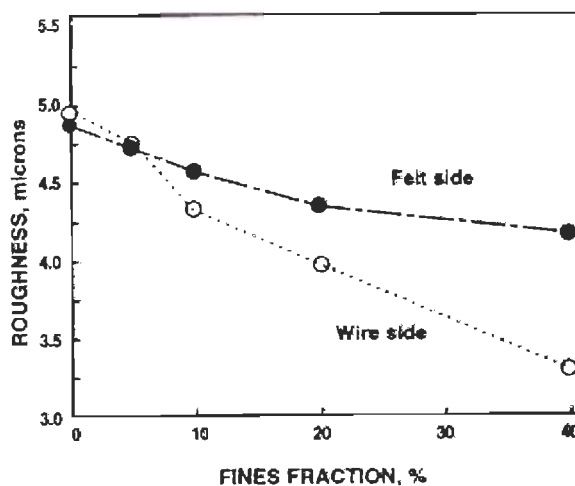


Figure 3.4 Effet des fibres fines sur la rugosité [18].

Des résultats obtenus sur l'analyse de feuilles monocouches révèlent une réduction de peluchage avec l'augmentation de la quantité de fractions courtes de fibres [18].

3.2 Approche mécanique de réduction du peluchage

Une variation des paramètres dans la qualité des fibres et une variation dans l'uniformité de la surface et des traitements internes peuvent conduire à une variation du peluchage. En outre, comme vu précédemment, de multiples facteurs reliés au raffinage et à la fabrication du papier sont susceptibles d'engendrer ou non l'apparition de problèmes de peluchage. Toutefois, la grande difficulté de contrôle du phénomène de peluchage intervient durant le processus d'impression dans la salle de presse. Les facteurs principaux au sein de l'usine d'impression incluent :

- contrôle de la température ;
- contrôle de la pression et de la vitesse ;
- contrôle propriétés rhéologiques de l'encre ;
- contrôle de l'humidité ;
- contrôle des propriétés du blanchet ;
- contrôle des « techniques de conception expérimentales » ;
- entretien de la presse (par exemple la pression au point de contact, blanchets mal habillés etc.).

La température de calandrage est un facteur important dans l'amélioration des propriétés d'imprimabilité du papier. Le calandrage est une opération destinée à améliorer l'aspect fini du papier par l'utilisation d'une machine, indépendante de la presse, possédant des cylindres lisses superposés : la calandre. Lors du calandrage du papier, il y a modification d'épaisseur durant le passage au niveau du point de contact de calandrage. Toutefois, la modification d'épaisseur est encore plus importante lorsque les rouleaux sont chauffés, de plus, un gradient de température engendre une déformation de la surface des fibres par rapport aux fibres contenues en profondeur du réseau (Figure 3.5) [18].

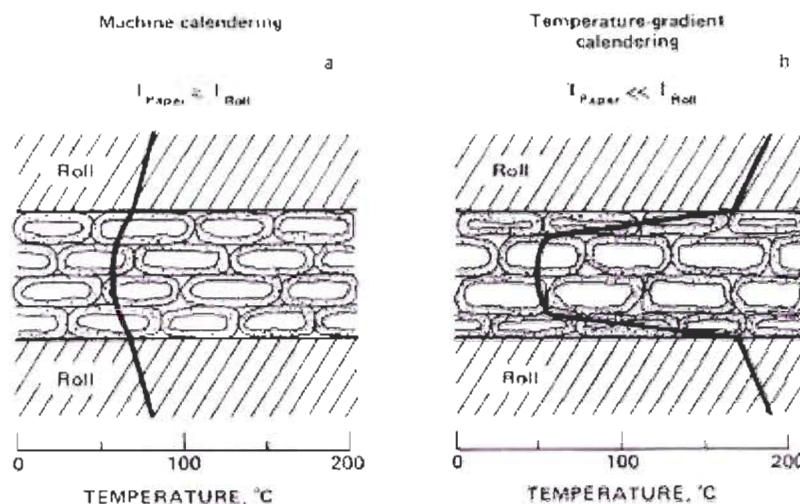


Figure 3.5 Effet de la température sur l'épaisseur et l'organisation du réseau fibreux du papier [18].

En outre, un papier calandré avec un gradient de température comparativement à un papier calandré à température conventionnelle possède :

- une faible rugosité Parker Print-Surf ;
- une brillance Hunter à 75° beaucoup plus élevée ;
- une plus faible efficacité visuelle ;
- un transfert d'encre bas ;
- une faible exigence en encre ;
- un maculage supérieur.

Une propriété fortement influencée par le gradient de température de calandrage est la tension de surface qui découle de la liaison des fibres. À 200 °C, la surface du papier se plastifie et devient plus lisse ce qui permet une meilleure liaison des fibres et donc une faible tendance au peluchage [18]. La Figure 3.6 montre les modifications de lissé retrouvées au niveau de la surface d'un échantillon de papier journal calandré à deux températures distinctes. Le calandrage à 200°C permet d'obtenir une surface lisse, un

réseau fibreux mieux défini et donc une meilleure liaison des fibres. Ce type de papier journal a une faible tendance au peluchage.

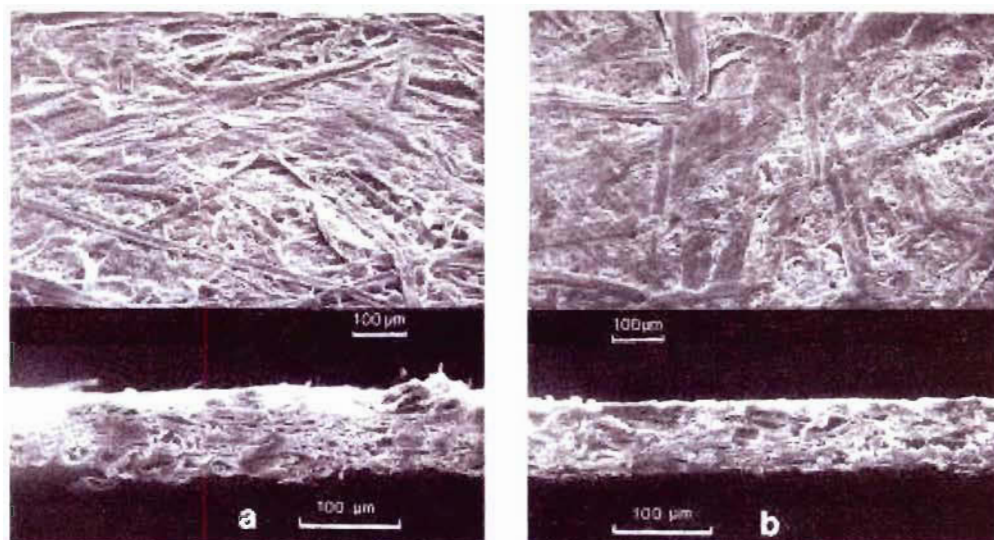


Figure 3.6 Image au microscope électronique à balayage du dessous et de la tranche d'une feuille de papier journal calandré à une densité de $1,6 \text{ g/cm}^3$ (a) calandrage conventionnel, (b) calandrage à gradient de température [18].

L'effet de l'augmentation de la température de calandrage sur le peluchage a longuement été évalué. Une analyse consistant à calandrer des rouleaux de papier journal à 21°C et 230°C a permis d'obtenir des résultats qui n'étaient pas toujours identiques malgré la duplication des conditions expérimentales [19].

La température de l'unité de calandrage augmente avec le peluchage, toutefois, une température de calandrage élevée réduit le peluchage par des facteurs de 1,9 à 6,5 comme illustré à la Figure 3.7.

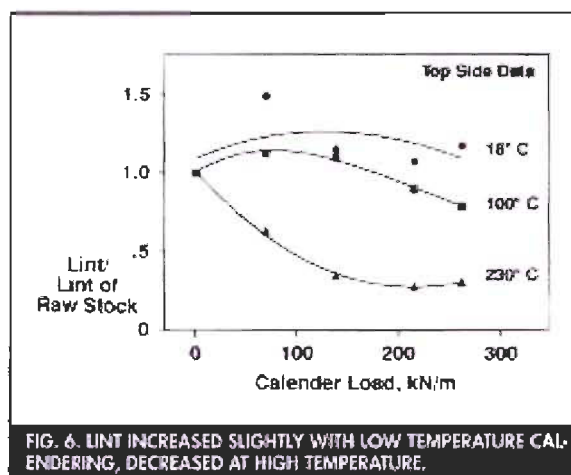


Figure 3.7 Effet de la température de calandrage et de la pression sur le peluchage à 18, 100 et 230°C [19].

Finalement, la réduction du peluchage par l'élévation de la température de calandrage pourrait être reliée au phénomène de « thermoplastification » de la fibre de papier [19]. Ce phénomène appelé température de transition vitreuse de la lignine est marqué par le changement de l'état solide à l'état liquide. À l'état liquide, la lignine se disperse puis se resolidifie pour former un genre de colle qui relie les réduit les fibres susceptibles de pelucher [20].

Il est généralement admis qu'une augmentation de la pression d'impression engendre un accroissement du peluchage sur les parties image et non-image. La différence de blanchet peut aboutir à l'obtention de résultats complètement différents malgré l'utilisation d'une même presse et d'une méthode d'impression similaire [21]. Étant donné l'absence de modèles permettant d'améliorer la compréhension des interactions encre-presse-papier, il demeure difficile de prédire les effets de la pression d'impression sur le peluchage des fibres actuellement [22].

La méthode Beaulieu et Shallhorn [23] consiste à classer les configurations de presse en trois catégories en fonction de leur capacité à influencer le peluchage. L'efficacité de cette évaluation réside dans sa capacité à pouvoir quantifier l'effet de la formation de la machine à papier et de la pression sur la tendance au peluchage. La machine pilote

utilisée est la machine Beloit équipée de sept chaines, d'une boîte principale concept III, sans section de séchage et d'une section Fourdrinier. Cette presse a aussi l'avantage de posséder une section à trois points de contact d'impression suivi de quatre presses. En vue de déterminer la tendance au peluchage, trois fluides sont utilisées, de l'eau et deux solutions de résine à 12 et 15 % afin de pouvoir déterminer trois forces de collant impliquées dans l'enlèvement de matériel fibreux à la surface du papier. Pour ce qui est de la presse commerciale, elle est composée de boîtes principales Beloit et d'une unité Black-Clawson. La zone de presse possède deux points de contact : le premier point effectue une pression directe et le deuxième une pression inversée. Les effets sur le peluchage ont été recueillis à l'aide du testeur de forces externes; Macmillan Bloedel. La formation de la machine à papier et la pression ont un effet certain sur la tendance au peluchage de papier composé uniquement de pâte mécanique. Le fait de convertir la machine Fourdrinier en forme hybride réduit fortement l'arrachage de fibres à la surface du papier. En fin de compte, une surface de papier qui présente des malformations et possède un haut degré de peluchage peut être améliorée par l'augmentation de la pression et de la qualité de la pâte mécanique comparativement à un papier possédant une surface de formation correcte et un faible degré de peluchage.

Dans le but d'évaluer le degré d'influence de la pression d'impression sur le peluchage, des travaux ayant recours à deux pressions d'impressions extrêmes ont eu lieu, une pression faible de 3,6 MPa et une pression forte de 5,0 MPa, avec des encres à base d'huile de résine Picco à 9 et 12 %. Ces encres de nature newtoniennes permettent d'évaluer la viscosité à partir de tests rhéologiques. À faible vitesse d'impression, une faible pression d'impression apporte plus de peluchage indépendamment du lissé du papier. Ce qui a conduit aux déductions suivantes [24] :

- la pression d'impression a un impact sur l'énergie de rupture dans la mesure où cette pression influence le film d'encre dans son écoulement poreux;
- l'épaisseur du film d'encre influence l'écoulement poreux et l'écoulement libre du film d'encre (défini comme force de cisaillement) ;

- enfin, la vitesse d'impression a un effet net sur l'énergie de rupture liée à la force d'écoulement libre du film d'encre.

La rupture d'une fibre résulte de toutes les interactions évoquées plus haut associées au potentiel de liaison des garnitures utilisées pour fabriquer le papier. Ce phénomène s'explique par les équations d'écoulement du film d'encre [25] que nous n'aborderons pas dans ce chapitre.

Lors de l'évaluation de la pression d'impression, force est de constater que ce paramètre est fortement relié à la vitesse d'impression. La complexité des interactions que l'on retrouve au niveau du point de contact d'impression fait qu'il demeure primordial d'approfondir la relation existante entre la vitesse d'impression et le peluchage. Les effets de la vitesse d'impression sur le peluchage sont fonction de la méthode considérée selon qu'il s'agit de celle de Pritchard, Varkaus, Karttunen et Lindqvist) [24]. En effet, l'arrachage des fibres du papier augmente avec la vitesse d'impression : au dessus de 4,4 kN/m pour Pritchard, 1 à 5 m/s dans la méthode Varkaus, de 2,6 à 4,6 m/s pour Karttunen et Lindqvist. Dans le but d'observer une gamme de vitesses d'impression, des tests comme l'IGT (d'après Instituut voor Grafische Technieken, l'institut néerlandais qui a développé le test d'arrachage IGT) et le test de Prüfbau permettent d'avoir recours à des échantillons de papier régulièrement accélérés durant l'impression à partir d'une position initiale jusqu'à une position finale connue et préréglée. La vitesse apparente d'arrachage des fibres augmente lorsque la fin de vitesse du niveau d'impression croît [24]. À ce propos, une autre approche suggère que les changements observés dans la vitesse sélectionnée sont provoqués par un stress important dans le réseau fibreux du papier pendant des accélérations considérables [25]. De cela, une vitesse d'impression élevée accroît la tendance au peluchage des fibres de papier au point de contact [24]. Des travaux plus récents basés sur différentes classes de papier journal (PTM, pâte à bas rendement au sulfite et pâte de meule) ont considéré cette fois-ci que l'effet de la vitesse d'impression sur la rupture des fibres est lié à l'importance de deux écoulements libres d'encre différents dans les mélanges PTM. L'écoulement poreux est prépondérant pour les papiers poreux à calandrage bas, jusqu'à saturation d'encre (cf. points de pont des

pâtes 100 et 40 % PTM à bas niveau de calandrage). À calandrage élevé, les différences observées parmi les 3 vitesses d'impression, faible (3.0), moyenne (4.0 ou 4.6) et élevée (5.0 ou 6.0) deviennent moindres [24].

Les propriétés rhéologiques de l'encre sont élaborées à partir de la viscosité, du collant de l'encre ou « tack » et de la loi de Stefan [26]. La viscosité et le collant sont deux propriétés qui sont fonction de la température de l'encre et de sa composition chimique [24]. En impression offset, l'accumulation de peluches sur le blanchet est fonction de la viscosité de l'encre. Toutefois pour ce qui est des essais d'impression en laboratoire, la viscosité de l'encre varie de 10% à 100 % par variation de la température d'un degré Celsius en fonction de la composition chimique de l'encre à mesure que la température diminue [27].

L'humidité de la salle d'impression est capable de modifier la mouillabilité de la surface et la capacité d'absorption du papier [24]. Ce constat permet de considérer l'humidité comme étant un facteur susceptible d'influencer l'imprimabilité du papier dans la mesure où ce facteur peut varier au cours d'une année. Pendant l'impression offset, l'eau est transférée sur la partie image, mais aussi sur la partie non image. Cela signifie qu'il faut donc considérer l'effet de l'humidité sur le peluchage séparément en fonction des parties encrées et non encrées du blanchet. En prenant compte du fait que l'effet majeur du peluchage sur l'émulsification de l'eau dans l'encre est une perte de viscosité et du collant de l'encre, une augmentation de l'humidité affecte le peluchage sur les parties image. Le tout relié à une baisse de l'alimentation en eau sur les plaques qui va aboutir à une réduction de la quantité d'eau émulsionnée dans l'encre. La mouillabilité du papier est fonction du temps de contact entre le papier et l'eau. Ce facteur met en relief l'importance des interactions eau-encre-papier à considérer (équilibre encre-eau, propriétés de surface du blanchet, propriétés des plaques...) [24].

Les propriétés du blanchet susceptibles d'influencer le peluchage sont : les propriétés adhésives du cylindre blanchet, sa dureté et sa compressibilité [24]. La tendance au peluchage pour un cycle de 5000 impressions et plus augmente avec la rugosité du blanchet comme illustré sur la Figure 3.8.

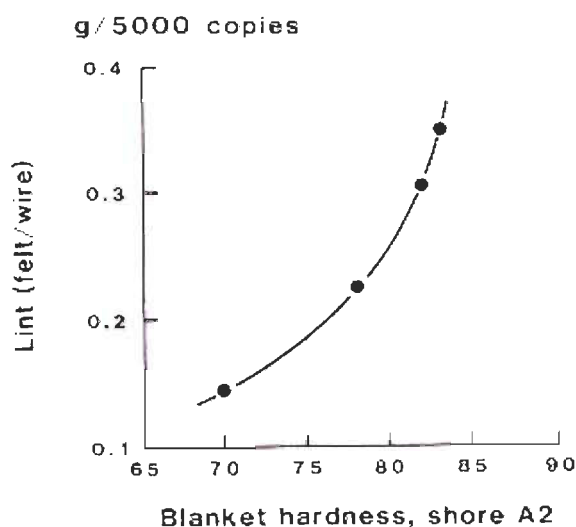


Figure 3.8 Effet de la rugosité du blanchet sur le peluchage sur presse Apollo après 5000 impressions [28].

Cependant, les effets ne sont pas encore bien établis. Une étude menée à partir de 21 bobines de papier journal évoque que le peluchage décroît avec la rugosité du blanchet et que les blanchets durs occasionnent des problèmes de qualité d'impression. Or en impression offset, les propriétés adhésives du blanchet sont contrôlées par les systèmes mouilleur et encreur, et l'émulsion créée entre l'eau et l'encre. L'arrachage des fibres au point de contact d'impression et l'accumulation de peluches sur le blanchet sont influencés par les propriétés du blanchet [24].

En s'appuyant sur l'analyse des « techniques de conception expérimentales », le modèle de Plackett-Burman, basé sur l'étude de plusieurs variables à la fois en utilisant un petit nombre d'observations, se propose de faire une réinterprétation de différentes publications [29]. L'environnement de la presse Apollo permet d'établir dix facteurs susceptibles d'avoir un impact sur l'accumulation et la migration des fibres de papier sur la presse. L'analyse des essais effectués sur la presse permet d'émettre des hypothèses relatives à l'implication du collant de l'encre, la température de laboratoire ainsi que l'alimentation de l'encre et de l'eau dans la rupture des fibres du papier. L'hypothèse que des différences dans l'habillage du cylindre d'impression et du blanchet pourraient créer une vitesse de circonférence responsable du déplacement des fibres de peluche sur la

presse a été émise. L'apport total des fibres sur la presse est attribuable au collant de l'encre, à la température et à l'âge du blanchet suivi de l'alimentation d'encre et d'eau. Enfin, l'emballage des imprimés, l'angle de décollement du papier (relativement à l'horizontale) et l'emballage du cylindre d'impression sont les facteurs qui ont le moins d'effets sur le peluchage. Les résultats présentés dans le Tableau 3.1 montrent les différentes variables sélectionnées, leur niveau d'ajustement et leur effet sur le peluchage en mg et pourcentage de peluches.

Tableau 3.1 Effet des différentes variables du modèle de Plackett-Burman sur le peluchage [29].

| Variable | Low level | High level | Factor Effects, Total lint on press ¹ mg of lint | Factor Effects, % of total lint in ink train ² |
|--|-------------------------|-------------------------------|---|---|
| Paste packing, mm | 0.00 | 0.02 | -13 | -5% |
| Blanket age | New (5,000 impressions) | Old (over 50,000 impressions) | 28 | -7% |
| Caliper of blanket and and packing, mm | 1.47 | 1.50 | -16 | 9% |
| Caliper of impression blanket and packing, mm | 1.37 | 1.40 | -4 | -10% |
| Unassigned factor | | | -14 | 5% |
| Web take-off angle, degrees (Relative to horizontal) | 18 | 30 | -7 | -2% |
| Lati temperature, °C | 17.8-19.4 | 22.8-23.3 | 24 | 3% |
| Ink back | 8 | 11 | 30 | 16% |
| Ink feed setting | 5 | 6 | -20 | 5% |
| Water feed setting | 3 | 5 | 18 | 19% |
| Press speed, copies/hr | 19,200 | 25,000 | 16 | 1% |

1. Change in total lint weight (in mg) when going from the low level of the variable to the high level. (Int weights for the heavy Plackett-Burman trials ranged from 33 mg to 71.8 mg; wt. low-age of 70 mg.)

2. Change in percentage of total press lint found in the ink train when going from the low level of the variable to the high level. This percentage ranged from 2.7% to 14.1% with an average of 4.5%. This average linted feed the low ink feed into the ink train.

Une découverte inattendue au cours de cette analyse fut la proportion importante de peluches retrouvées dans le « train d'encre » dont le pourcentage moyen était de 44 %. Les facteurs qui ont le moins d'importance sur la mobilité des peluches à travers la presse sont la vitesse d'impression et l'angle de décollement du papier. L'accumulation de peluches sur un long cycle d'impression (au dessus de 12000 copies) est plus importante sur les parties non image tandis que l'autre accumulation la plus importante s'effectuait au niveau du « train d'encre ». Sur les parties non image, il n'y a pas suffisamment d'encre pour créer les forces de collant nécessaires à l'arrachage des fibres du papier [29].

3.3 Approche chimique de réduction du peluchage

Ces cinquante dernières années ont été caractérisées par l'usage grandissant de papier recyclé et de pigments naturels tels les charges, et pour le couchage du papier, de matériels bruts, pour l'amélioration permanente de la machine à papier, mettant l'emphase sur l'économie, l'écologie et la qualité [30]. D'une manière générale, les papiers et cartons sont composés à 99 % de matériels naturels : fibres vierges issues de pâte mécanique et thermomécanique contribuant pour 48 % du matériel brut consommé; fibres recyclées à 40 %; le matériel non fibreux tels les charges et pigments de couchage à 9 % et les 3 % restant sont consacrés aux additifs chimiques. À l'intérieur de ces 3 %, l'apport de l'amidon s'évalue à un peu plus de la moitié c'est-à-dire 1,7 % [30]. Cet apport représente plus de 50 % de tous les produits chimiques confondus utilisés dans la production mondiale de papier comme illustré sur la Figure 3.9.

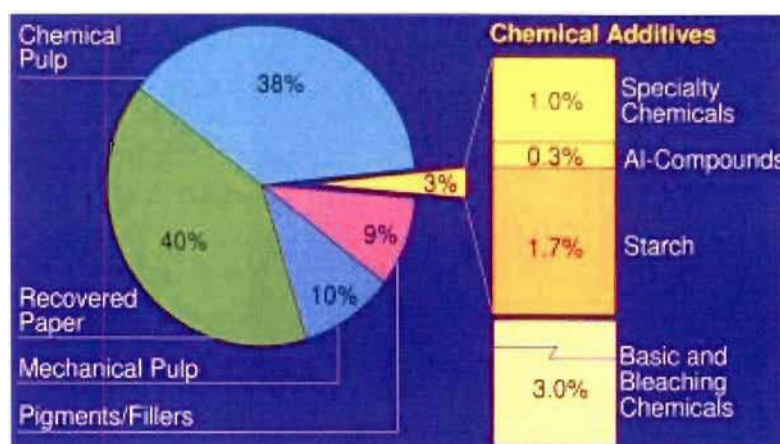


Figure 3.9 Part relative des groupes d'additifs chimiques et de matières premières utilisés pour le papier et la production en 2004 [30].

Les additifs spécialisés ne représentent que le tiers de ces 3 %. Certains de ces additifs vont conférer différentes propriétés au papier par exemple : la coloration des feuilles, la résistance contre l'encre ou l'eau, un haut niveau de brillance, une bonne apparence d'imprimabilité ou tout simplement de la force [30]. Ce groupe d'additifs chimiques appelés « additifs fonctionnels » comprend des classes d'additifs comme : les polymères d'adhésion, les agents de couchage et de collage, les agents de force sèche et humide, les

agents chélatants etc. La Figure 3.10 montre le pourcentage occupé par chacune de ces classes de substances.

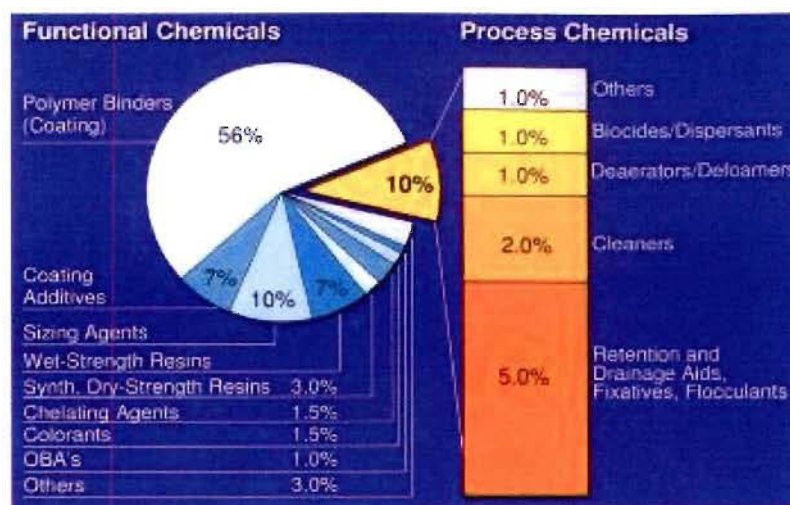


Figure 3.10 Part relative des groupes des classes d'additifs chimiques utilisés pour le papier et la production de carton en 2004 [30].

Les additifs de contrôle de peluchage appartiennent à la classe des agents de collage du papier [30]. Ces additifs chimiques, directement ajoutés dans la pâte, présentent l'avantage d'accroître l'imprimabilité du papier lorsque celui-ci se retrouve en imprimerie par l'augmentation de sa force de surface. Il existe toujours une part d'imprévisibilité concernant le contrôle de l'arrachage de fibres. Cet arrachage est souvent lié à la faible énergie spécifique de surface des fibres en présence. On entend par énergie spécifique de surface des fibres, le potentiel de chaque fibre de pouvoir effectuer des liaisons fibre-fibre de type ionique (liens hydrogène). Dans le peluchage, le problème proviendrait de l'énergie spécifique de surface insuffisante des fibres fines pour consolider la pâte. La question d'utiliser des additifs vient donc comme un outil capable d'accroître cette énergie par la consolidation de la structure de la feuille et l'amélioration de ces propriétés de surface. Les additifs antipeluchants retrouvés sur le marché sous différentes formes incluent :

- les émulsions d'esters de phosphate ;

- les amidons cationiques à courtes chaînes (liquide) ;
- les molécules à bases de polymères synthétiques comme :
 - les émulsions de cire cationique ;
 - les agents de rétention (floculants) ;
 - les copolymères de styrène maléimide.

L'utilisation d'ester de phosphate dans le but de traiter la surface du papier est de plus en plus répandue dans l'industrie des pâtes et papiers. En effet, des feuilles traitées avec un ester de phosphate permettent d'obtenir une baisse de la tendance au peluchage de 40 % [31]. En comparant la surface de chaque échantillon de feuille, on peut noter la présence de fibres qui ne sont pas totalement rattachées à la feuille créant une surface rugueuse, sujette au peluchage pour les feuilles exemptes d'additifs comme illustré sur la Figure 3.11. Le grade évalué durant cette expérimentation était un grade SCB 556. Les conditions de calandrage étaient les suivantes : pression 300 kN/m, température 73°C. Le lustre obtenu était de 30 % et l'épaisseur de 58 microns pour la figure de droite et 53 microns pour celle de gauche.

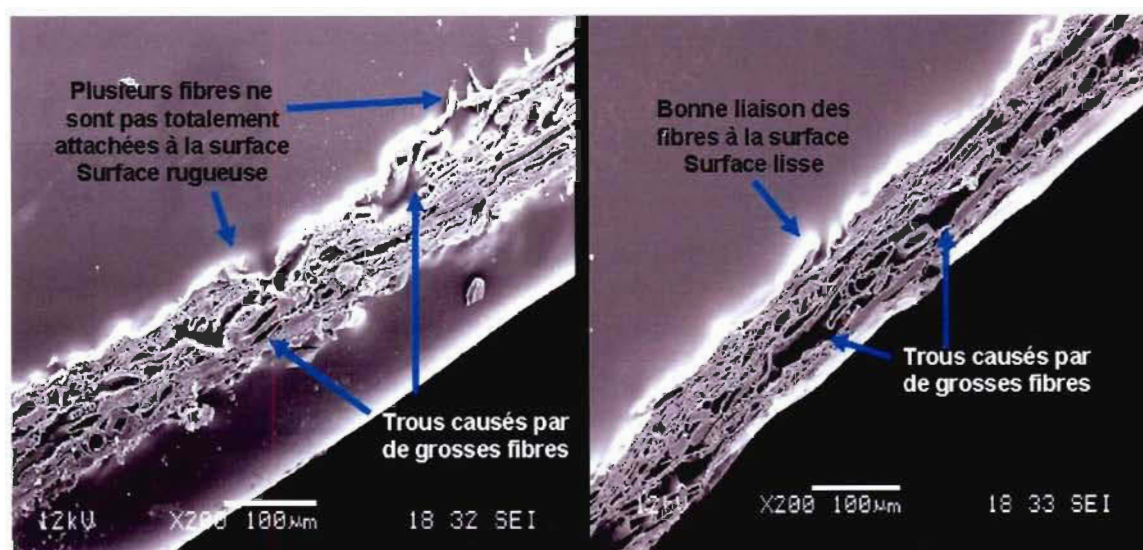


Figure 3.11 Feuilles SCB non traitées (gauche) et traitées avec un ester de phosphate (droite).

Les esters de phosphate, souvent utilisés dans les industries du plastique et du textile, font partie de la famille des agents antistatiques et antiadhésifs. En pâtes et papiers, c'est leur potentiel tensioactif c'est-à-dire leur possibilité d'agir sur la tension de surface de la feuille en la rendant moins adhérente, qui est considérée comme potentiel de réduction du peluchage [32]. Les tensioactifs ont aussi la capacité de réduire l'angle de contact de la feuille et par conséquent réduisent son hydrophobicité.

Des esters de phosphate à base de cire présentent une efficacité meilleure relativement au contrôle du peluchage comparativement à des additifs traditionnels de réduction du peluchage. À un dosage de 0,5 kg/t et combiné à un agent de collage, les esters de phosphate contrôlent l'arrachage des fibres à la surface réduisant ainsi la tendance au peluchage de la feuille (Figure 3.12).

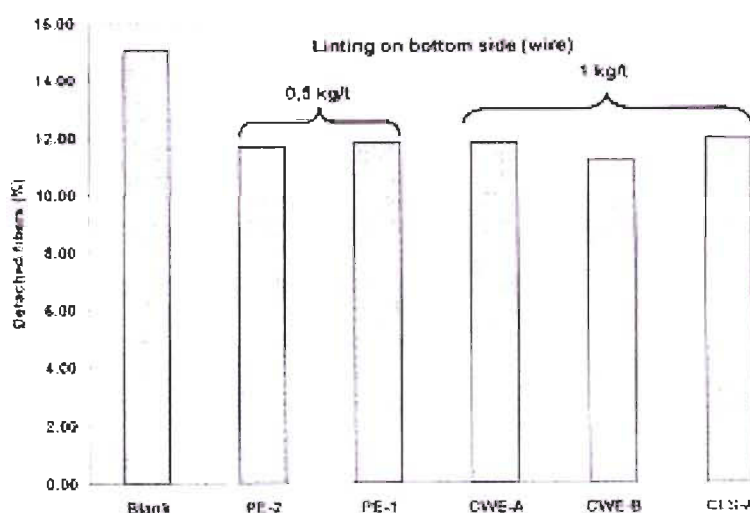


Figure 3.12 Efficacité de la réduction du peluchage d'ester de phosphate vs émulsions cire aqueuse et amidon cationique traditionnel [33].

Les esters de phosphate sont formés par l'association d'acide phosphorique et d'alcool gras. La composition de la molécule est représentée sur la Figure 3.13.

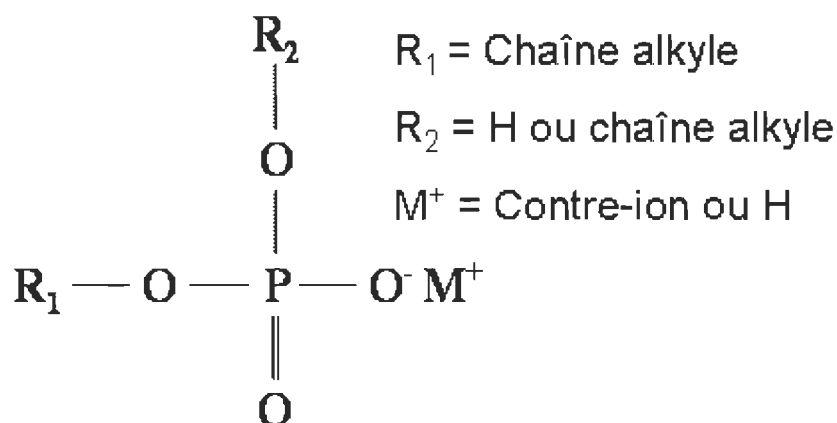


Figure 3.13 Formule générale des esters de phosphate.

R_1 représente une chaîne alkyle, R_2 une chaîne alkyle ou un atome d'hydrogène et M^+ un contre-ion neutralisant. La présence d'une charge cationique en condition acide ou neutre fait que les esters de phosphate peuvent être retenus à l'intérieur de la feuille. Lorsque c'est le cas, ils agiront à titre d'antiadhésif afin de prévenir le peluchage [32].

L'amidon joue un rôle majeur comme additif chimique utilisé dans la fabrication de papiers et cartons [30]. Pendant très longtemps, les fabricants de papier ont eu recours à l'amidon au point où des traces d'amidon ont même été retrouvées dans des feuilles de papyrus. Les dérivés de l'amidon tels les biopolymères par exemple sont principalement utilisés pour accroître la force sèche du papier et comme liant des pigments de couchage.

De nos jours, le champ d'application de l'amidon dans l'industrie du papier inclut l'ajout au niveau de la partie humide pour augmenter la force sèche, la rétention des fines et des charges [30]. On note aussi des applications dans les domaines suivants : la surface de collage, les pigments de couchage du papier et la transformation des fonctions adhésives (Figure 3.14).

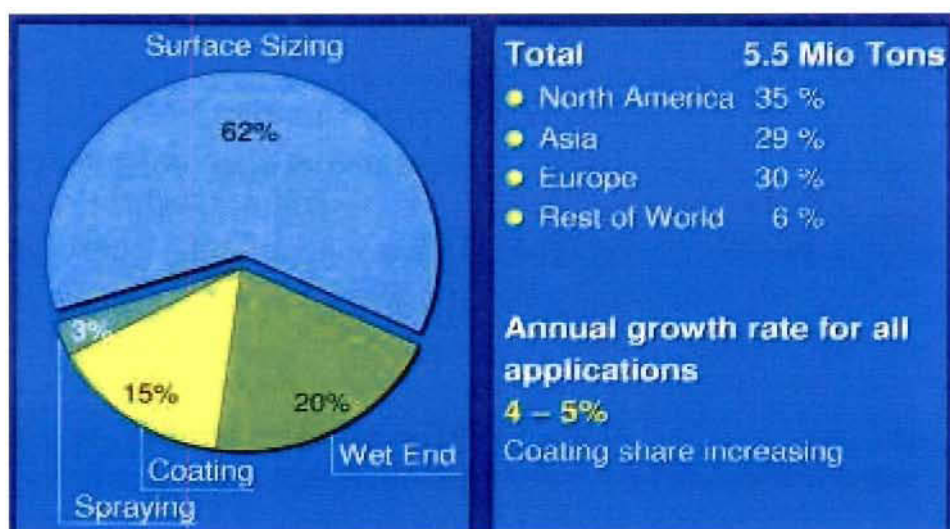


Figure 3.14 Répartition de l'usage de l'amidon dans la production de papier et cartons en 2004 [30].

L'amidon, chimiquement semblable à la cellulose, est un polymère composé d'unités de glucopyrannose reliés par des groupements carbone. Il s'agit d'un polymère formé par le mélange de molécules linéaires : l'amylose et de molécule ramifiée, l'amylopectine. Pour une application efficace dans la fabrication du papier, l'amidon doit être modifié. Les méthodes de modification suivantes sont pratiquées : modification physique, fractionnement des composants de l'amylose et l'amylopectine, conversion thermomécanique, hydrolyse acide, modification chimique, oxydation, dérivation et enzyme de conversion. Cependant, il s'avère que certaines de ces méthodes ont comme conséquence, une réduction du poids moléculaire de l'amidon et donc baisse du potentiel d'accroître la force du papier [30]. C'est le cas de la conversion thermomécanique, l'hydrolyse acide et l'enzyme de conversion. Dans certaines applications, un amidon de faible poids moléculaire peut être requis, seulement, le maximum d'augmentation de la force par l'application à la surface requiert un ratio optimal entre la viscosité et la prise automatique de la solution d'amidon dans le collage. C'est la raison pour laquelle 62 % de l'amidon produit à l'échelle de la planète est consacré au collage de la surface du papier. Synthétisés chez les fabricants d'amidon à partir de la pomme de terre, du tapioca et du maïs, les amidons cationiques ont l'avantage d'être non polluants pour l'environnement. Afin d'obtenir une bonne rétention de l'amidon dans la fabrication du

papier, celle-ci est reliée à des groupes amines cationiques de type tertiaire ou quaternaire. Un amidon cationique commercial typique a un certain degré de substitution de groupe cationique allant de 0,01 à 0,05. Autrement dit, 1-5 de 100 unités d'anhydroglucose contiennent un groupe cationique [30]. La Figure 3.15 illustre la formule d'un monomère de base d'un amidon cationique.

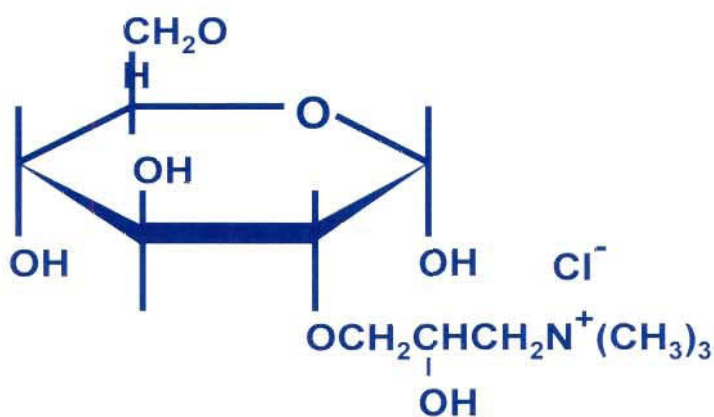


Figure 3.15 Formule d'un monomère de base d'un amidon cationique.

Les méthodes de fixation ou précipitation offrent une autre alternative de liaison de charges cationique par l'emploi de polymères cationiques qui vont réagir avec l'amidon naturel ou faiblement anionique [30]. Des polymères comme le polyvinylamine forment un complexe stable en présence d'amidon naturel de pomme de terre et de fibres de papier ce qui se traduit par une bonne rétention aboutissant à une augmentation de la force du papier (Figure 3.16).

Une autre modification dite sèche de l'amidon est basée sur la liaison interfibre par l'intermédiaire des groupes hydroxy glucose libres [30]. Ce mécanisme aboutit à la formation de ponts hydrogène entre les hydroxy glucose et les molécules de cellulose à la surface des fibres par « hydratation chimique » (Figure 3.16).

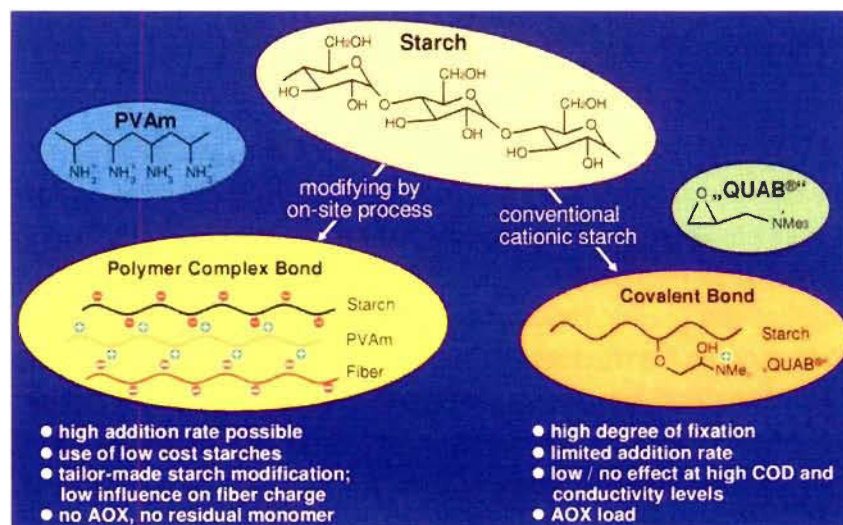


Figure 3.16 Modifications de l'amidon pour les applications humides [30].

D'une manière générale, le mandat ultime de l'amidon au niveau de la surface est d'amplifier les propriétés comme le renfort la surface du papier et la liaison des particules telles les charges et pigments plus solidement à la surface. L'amidon confère aussi de la force interne à la feuille par la pénétration du liquide dans la direction z. Les applications dans la chimie humide permettent de retenir généralement 100 % de l'amidon introduit dans le mélange sans influencer sur le drainage et la mise en pâte du cassé (papier déclassé et remis en pâte) [30]. L'additif chimique Raisabond est une classe de produit cationique utilisée généralement à 0,5 % et 2 % dans la chimie du bout humide afin d'augmenter les forces de la direction z (uniformité du floc fibreux) et de surface. Ce produit utilisé par bon nombre de fabricants de papier permet de prévenir l'apparition de problèmes de peluchage des parties image et non-image, de délamination, d'arrachage et de poussierage de la feuille.

Les fibres issues de la fabrication du papier ont une forte tendance à interagir avec les molécules d'eau. Cette propriété prend toute son importance lors du développement de liens hydrogène interfibres puissant, particulièrement lors du séchage du papier [30]. Certains grades de papier comme les essuie-mains et les mouchoirs ont besoin de ce niveau d'absorption. Cependant, ce type de propriété peut représenter un problème pour des papiers d'emballage liquide, d'écriture et d'impression, et autres papiers spéciaux.

L'eau et l'absorption de liquide peuvent être limitées par l'addition d'agents de collage au support du papier. Leur application à la surface du papier est aussi une méthode permettant de limiter cette absorption de liquide [30]. Depuis l'invention du papier, il y a environ 2000 ans, l'usage d'additifs à base de polymères n'a cessé de croître. De nos jours, la classe de molécules à base de polymères synthétiques est une catégorie de substances dont l'utilisation est très répandue dans l'industrie des pâtes et papiers. Cette classe de produits comprend trois sous-groupes :

- les émulsions de cire coagulant cationique;
- les agents de rétention (floculants);
- les copolymères de styrène maléimide.

Les émulsions cire cationique sont composées de paraffine et de polyamine. Deux produits dérivants du pétrole. Les polyamines diffèrent des autres polymères par la charge cationique retrouvée sur la chaîne principale. Appartenant à la classe des polyamines quaternaires, les coagulants cationiques sont formés par la réaction de condensation de l'épichlorhydrine avec une amine primaire ou secondaire habituellement la diméthylamine. À titre d'exemple, Aquamol 1525 est une émulsion cationique possédant la capacité de lier les fibres et charges à la surface de la feuille provoquant en une diminution de 30 % à 60 % de la tendance au peluchage des procédés offset [34]. Ce produit, de densité équivalant à 980 kg/m^3 et de pH situé entre 4 et 5, est généralement introduit dans le cuvier de la machine ou celui du mélange à deux dosages : 1 et 2,5 kg/t [34]. Ces produits sont spécialement conçus pour réduire le peluchage de surface et la tendance au poussierage des fibres lors de la production de papier journal et autre contenant de papier à partir du bois utilisé en impression offset [34]. Ces coagulants répondent à la formule générale ci-dessous (Figure 3.17).

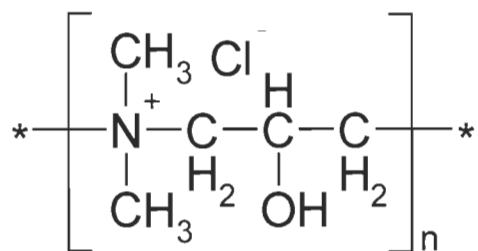


Figure 3.17 Formule de base d'un coagulant de type polyamine.

Les agents de rétention ou floculants dérivent de la copolymérisation de l'acrylamide avec le diméthylaminoéthyl acrylate. La représentation des polymères cationique de type polyacrylamide (PAM) est schématisée comme suit :

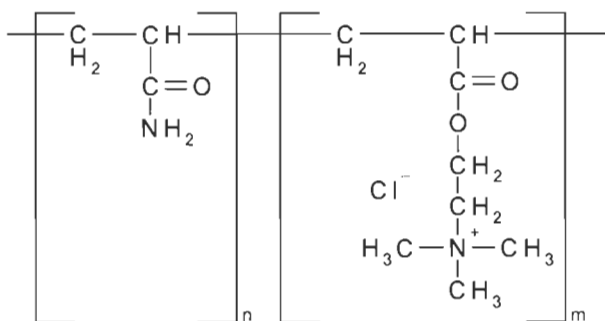


Figure 3.18 Formule d'un polymère cationique de type PAM.

Il faut mentionner qu'au cours de la réaction de formation de polyacrylamide cationique, il y a une première réaction avec le chlorure de méthyle pour former le diméthylaminoéthyl acrylate chlorométhylé. Le PAM est un copolymère d'acrylamide associé à un monomère cationique d'ammonium quaternaire le tout apprêté en solution aqueuse [30]. Ce polymère possède la capacité de s'attacher aux fibres et d'augmenter la force de surface du papier. Le PAM au glyoxal est un type de polyacrylamide de faible poids moléculaire formé par réticulation de la chaîne principale cationique avec un degré de molécules de glyoxal réagissant avec les groupes amines de la chaîne principale PAM [30]. Cette résine gèle après environ 8 jours dans une solution de 10 % à 25°C. Toutefois, les résines de PAM au glyoxal prennent environ 65 jours pour solubiliser dans

une solution de 6 %. Les résines de PAM à base de glyoxal sont reconnues en chimie du bout humide pour leur capacité à former des liaisons covalentes entre les éléments de la résine et les fibres créant la formation de complexes « fibre-résine-fibre » [30]. L'intervalle de pH à l'intérieur duquel, la réaction entre le PAM glyoxylé et la cellulose est optimal et rapide se situe entre 6 et 8 c'est-à-dire à pH neutre. Néanmoins, à pH acide à savoir entre 4 et 6, cette réaction est encore plus rapide. Il existe aussi une évidence sur le fait que la formation du complexe « fibre-résine-fibre » est réversible en présence d'eau [30].

Les copolymères de styrène maléimide sont bien connus pour leur propriété thermoplastique et leurs effets ont été longuement évalués en chimie de la partie humide de la machine à papier. L'usage de résines de styrène anhydride maléique (SMA) de type anionique comme agent de collage a montré pendant longtemps son efficacité. Cette classe de résines de styrène possède des caractéristiques amphipatiques et doit être hydrolysée avant son usage, en deux acides carboxyliques [35]. La Figure 3.19 illustre l'hydrolyse des résines SMA conventionnelles

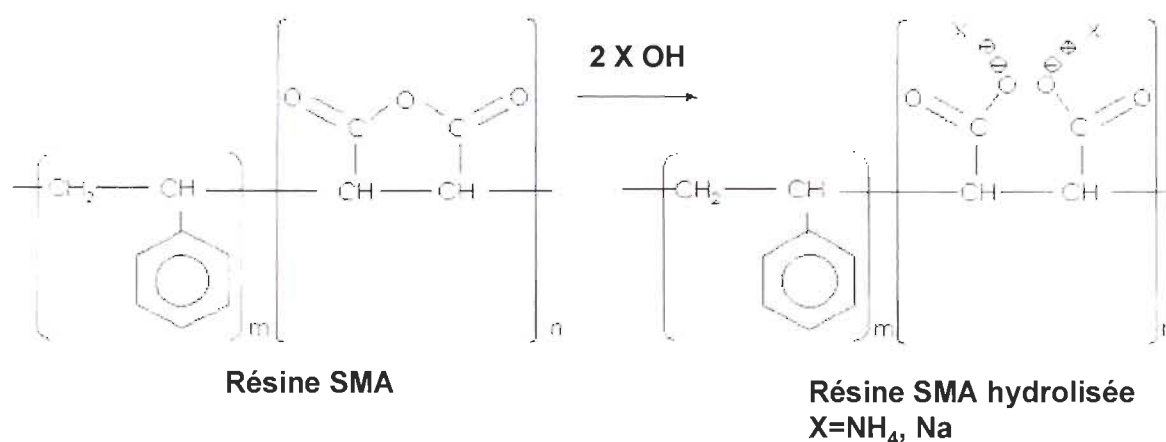


Figure 3.19 Schématisation de l'hydrolyse des résines conventionnelles SMA [36].

Habituellement, son effet de collage est amplifié avec l'addition de sels d'ammonium. Le principe étant basé sur le fait que l'évaporation des sels d'ammonium durant le séchage permet aux groupes carboxyles de la résine de pouvoir effectuer des liaisons

avec tous les éléments cationiques du mélange comme l'alun et les agents mordants. L'effet de collage du mélange résines SMA avec les sels d'ammonium est attribuable à l'apport de contre ions relié aux sels. Le mélange en présence d'alun aboutit à la formation de précipités [36]. Une nouvelle classe de résines SMA, les résines cationiques SMA imides démontrent des résultats meilleurs relativement à la réduction de la tendance au peluchage que ceux obtenus avec les résines anioniques SMA. Le terme « imide » fait référence à la structure chimique de la molécule et au fait que leur groupe anhydride subit une réaction dite « d'imidisation ». Durant cette étape, le groupe diméthylaminopropylamine (DMAPA) est greffé à la molécule de résine SMA en réagissant avec les groupes anhydride (Figure 3.20).

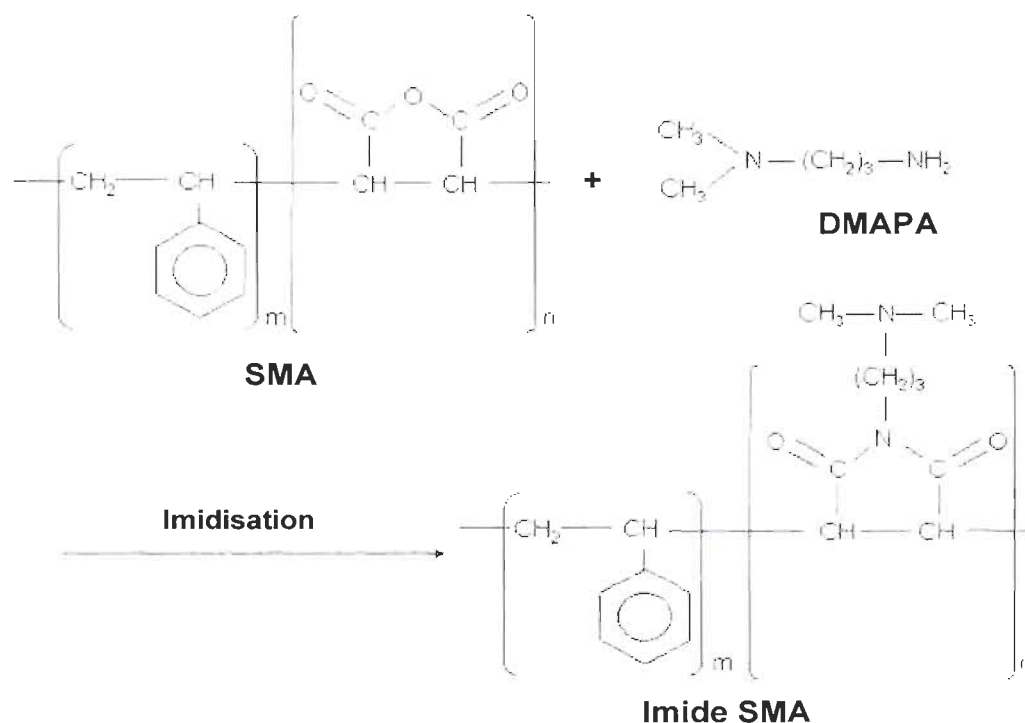


Figure 3.20 Schématisation de l'imidisation des résines conventionnelles SMA [36].

Des analyses de la tendance au peluchage effectuées avec les deux types de résines à différents ratios sur 15 % de cassé, 20 % de pâte désencrée et 65 % de pâte thermomécanique [36]. La mesure de la tendance au peluchage est effectuée par la

détermination de la quantité de fines arrachées à la surface des échantillons de feuilles puis récoltées dans une solution et ultimement analysée avec l'analyseur de la qualité des fibres (FQA). L'analyse de la quantité de fines par surface de l'adhésif permet de déterminer la tendance au peluchage de chaque résine [36]. Une faible quantité de fines par unité de surface témoigne d'un faible taux de peluchage. Les résines SMA cationiques et anioniques sont efficaces dans la réduction du taux de peluchage. L'augmentation du ratio SMA cationique – SMA anionique engendre une baisse de l'efficacité des résines SMA cationiques (Figure 3.21).

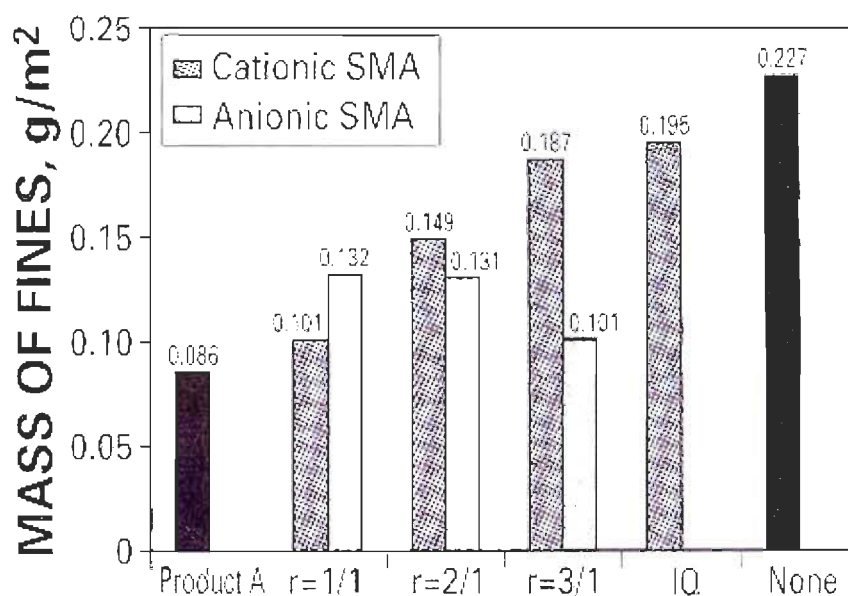


Figure 3.21 Effet des résines anioniques et cationiques SMA sur les propriétés de peluchage [36].

La meilleure réduction du peluchage pour ce qui est des résines cationiques SMA est obtenue au ratio 1/1 [36]. Concernant les résines anioniques SMA, plus la résine est hydrophobe, meilleur est son efficacité sur la réduction du peluchage. Quoique, pour ce qui est des résines cationiques SMA, l'effet est inverse c'est-à-dire que les meilleures performances de réduction du peluchage sont obtenues lorsque la résine est de plus en plus hydrophile. Une réduction du peluchage est aussi possible avec l'usage de résines cationiques SMA additionné d'agents de collage [36]. L'effet de réduction du peluchage

des résines cationique SMA imides est probablement relié à la haute densité de charge conférée par celle-ci au ratio 1/1. Ce ratio fournit une amélioration de la liaison de surface interne. On pourrait expliquer ce fait par l'augmentation de la rétention de fines et de charges engendrées par la combinaison de résines SMA imides et d'agents floculants cationiques PAM [36].

D'une manière générale, les additifs chimiques sont utilisés au niveau de la machine à papier afin d'accroître les performances du papier et de prévenir toutes formes de dépôts au niveau du blanchet relié à la perte de qualité de l'imprimé et l'apparition de peluchage. La difficulté de pouvoir maîtriser les multiples facteurs de la salle d'impression fait qu'il demeure des difficultés majeures dans ce qui concerne la possibilité de maintenir des standards de qualité d'impression élevés en dépit de la multitude de produits utilisés existant sur le marché.

CHAPITRE 4

MATÉRIELS ET MÉTHODES

Après avoir traité de la problématique de recherche ainsi que des notions et fondements théoriques autour desquels s'articulent notre projet, il serait pertinent de traiter de la méthodologie que nous avons utilisée pour atteindre nos objectifs fixés. A ce propos, il est question dans ce chapitre de présenter les différentes étapes de la démarche de recherche à savoir : l'échantillonnage, la production d'échantillons à potentiel peluchant élevé, l'évaluation des additifs anti-peluchant et la caractérisation des feuilles.

4.1 Échantillonnage

L'échantillonnage de nos pâtes s'est déroulé dans les trois usines suivantes : Kruger Trois-Rivières, Kruger Wayagamack et Matériaux Spécialisés Louiseville (Tableau 4.1). Kruger Trois-Rivières et Kruger Wayagamack étant deux sous-unités d'un même manufacturier. La pâte mécanique a été échantillonnée à l'usine Kruger Wayagamack au cuvier de pâte mécanique non blanchie. La compagnie Kruger compte sept machines à papier, deux coucheuses et sept supercalandres dans ces deux sous-unités de Trois-Rivières. Elle produit 55 % de papier journal, 25 % de papier couché et 20 % de papiers spéciaux pour revues et autres imprimés de nature publicitaire. Cinq échantillons d'un volume de 20 L de pâte et de consistance égale à 3 % ont été prélevés le 21 mars 2008 en une seule fois. L'échantillonnage de la PTM a été effectué à Kruger Trois-Rivières à partir de l'unité de raffinage S3 sous forme de pâte à haute consistance. Cette unité fabrique du papier journal à partir d'un mélange de pâte thermomécanique et de pâte désencrée à divers pourcentages préétablis par l'usine et son client. Le premier prélèvement a eu lieu le 16 novembre 2007 pour un volume de 100 L et le deuxième de 60 L s'est effectué le 20 février 2009. Dans la mesure où il est difficile de trouver en grande quantité les fibres grossières R28 dans les pâtes thermomécaniques usuelles, nous avons prélevé de la pâte thermomécanique faiblement raffinée à l'usine Matériaux Spécialisés Louiseville à la sortie du raffineur. Cette usine est spécialisée dans la

fabrication de panneaux de fibres de bois destinés au secteur de l'insonorisation, de la construction, des toitures industrielles et des partitions de bureaux. Cet échantillonnage a eu lieu le 26 mars 2008 et a permis de collecter un volume total de 60 L.

Tableau 4.1 Plan d'échantillonnage

| Usine | Date | Quantité | Consistance |
|-----------------------------------|------------|----------|-------------|
| Kruger Wayagamack | 21/03/2008 | 100 L | 3 % |
| Kruger Trois-Rivières | 16/11/2007 | 100 L | 52 % |
| | 20/02/2009 | 60 L | |
| Matériaux Spécialisés Louiseville | 20/03/2008 | 60 L | 36 % |

4.2 Production d'échantillons à haut potentiel peluchant

La simulation d'échantillons à haut potentiel peluchant s'est effectuée à l'aide de papier commercial de type papier journal à l'exception des échantillons contenant la glaise dont le grade se rapproche du surpercalandré. La fabrication de ces feuilles passe par la préparation de différents échantillons possédant chacun :

- un contenu élevé en fines ;
- un contenu élevé en fibres grossières R28;
- un contenu élevé en charges minérales (glaise).

Pour produire les feuilles à potentiel peluchant élevé avec ces différentes fractions de fibres, des pâtes mécaniques et PTM ont été fragmentées à travers le classificateur de fibres Bauer McNett afin de pouvoir sélectionner les différentes fractions de fibres en fonction de la taille. Les fractions fines R200 (dont la taille est comprise entre 74 et 149 μm), et les fibres R28 (dont la taille est comprise entre 638 μm et 1,41 mm)

proviennent toutes de pâtes non blanchies. Le Tableau 4.2 regroupe les différentes classes de fibres de R14 à R200 ainsi que leur taille.

Tableau 4.2 Classification des fibres en fonction de leur taille

| Classe de fibres | Taille (μm) |
|-------------------------|--|
| Fibres R14 | 1 410 et + |
| Fibres R28 | 1410 – 638 |
| Fibres R48 | 638 – 285 |
| Fibres R100 | 285 – 149 |
| Fibres R200 | 149 – 74 |

La glaise a été introduite à l'intérieur des pâtes thermomécaniques en présence d'un agent de rétention de type PAM cationique (organopol 5032, Ciba) dont le rôle était de retenir les charges minérales de glaise.

Afin de vérifier si le pourcentage de glaise introduit dans nos pâtes correspondait au pourcentage présent à l'intérieur de nos échantillons après séchage, une analyse du contenu en cendres de nos échantillons a été effectuée selon la méthode normalisée Tappi T211 om-02 [37]. Le taux de cendres est une méthode permettant de déterminer le pourcentage de cendres dans tout type et grade de papier et produits papetiers.

Pour ce qui est des fibres grossières R28, les échantillons de pâtes sont d'origine thermomécanique faiblement raffinées. Ensuite, un calcul de consistance des pâtes obtenues a été réalisé. Afin de pouvoir classer les fibres en solution dans la pâte en fonction de leur longueur, largeur et déformation, chaque échantillon de pâte a été soumis à une analyse de qualité des fibres (FQA). Le FQA permet aussi de dresser le profil des fibres en présence dans différents mélanges de pâtes en termes de longueur de fibres, largeur, courbure et pourcentage de fines. Une analyse de l'eau blanche au FQA a été opérée afin de vérifier le niveau de rétention des fines par la toile de formette.

Les fractions fines R200 pâte mécanique et PTM ont été rajoutée à une pâte usuelle (mécanique ou thermomécanique) de consistances comprises entre 0,14 et 0,16 %. Pour ajouter 10, 30 et 50 % de fines à chaque échantillon, il a fallut déterminer dans un premier temps, la consistance de l'échantillon de pâte destiné à être mélangé avec les fines. Ensuite, cette masse sèche a été multipliée par 10, 30 ou 50 % dépendamment du pourcentage considéré. La masse obtenue correspondant à la masse de fines sèches à rajouter. Enfin, la consistance de l'échantillon au complet de fines considéré a permis de déterminer la masse de fines à compléter pour obtenir notre mélange finale. Une mesure de consistance de l'échantillon final (mélange + fines) a été effectuée afin de préciser la masse de pâte requise pour la fabrication des feuilles. Cette consistance prend toute son importance lors de la fabrication des feuilles sur formette. Durant cette étape, il était question de fabriquer des feuilles de 1,2 g sec. Dans le cadre de notre étude, la consistance représente la masse sèche de fibres contenues dans une pâte, elle se calcule comme suit :

$$\text{Consistance(\%)} = \frac{\text{Pâte sèche (g)}}{\text{Pâte initiale humide (g)}} \times 100$$

Les feuilles devaient ensuite être calandrées à travers la calandre Beloit afin d'améliorer l'aspect fini du papier, et de consolider sa structure (Figure 4.1). Deux facteurs ont été considérés durant l'étape de calandrage à savoir la température et la pression dans la mesure où il s'agit d'une pression linéaire.

Une méthode permettant de déterminer la surface adéquate à l'analyse du peluchage pour un échantillon calandré a été développée au centre de recherche. Pour se faire, plusieurs échantillons de feuilles ont été calandrés. Une mesure du gradient de pression appliqué sur la feuille en fonction de la distance verticale du centre de la formette a été relevée. La Figure 4.2 montre la méthode employée afin de convertir la pression appliquée lue sur le manomètre (PSIG) en pression linéaire appliquée (PLI) sur la feuille.

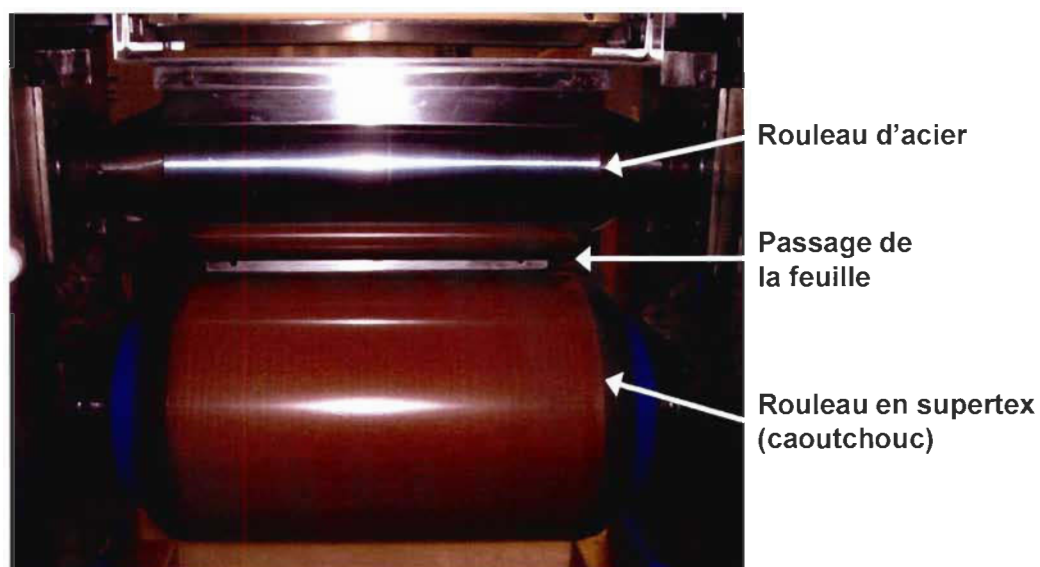


Figure 4.1 Photographie de la calandre.

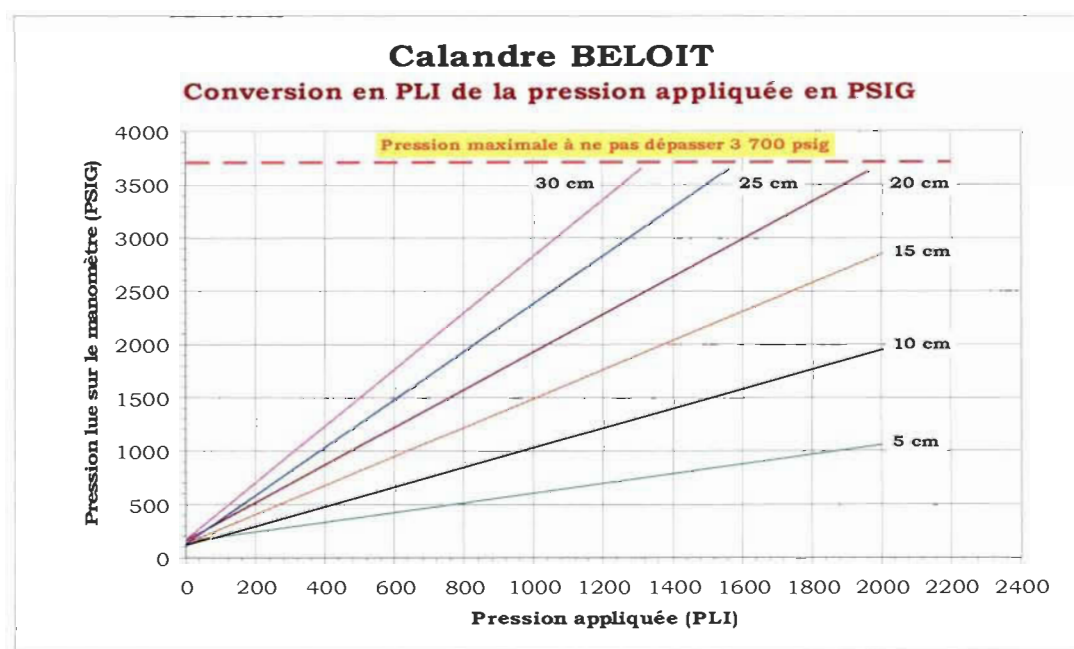


Figure 4.2 Conversion en PLI de la pression appliquée en PSIG.

Étant donné que les formettes sont circulaires, leur diamètre change constamment lors du passage à l'intérieur de la pince. Lors du calandrage, la pression appliquée à la surface de la feuille n'est pas constante. La Figure 4.3 ci-dessous illustre le gradient de pression en

PLI appliqué sur une formette de 14 cm de diamètre en fonction de la distance verticale du centre de la formette.

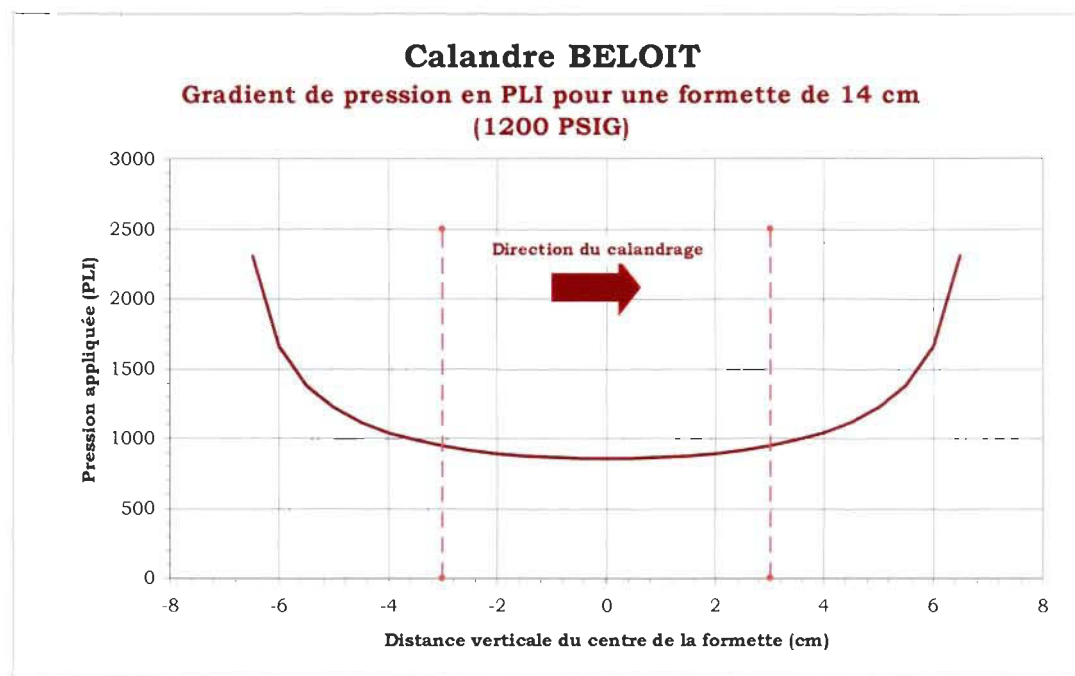


Figure 4.3 Gradient de la pression appliquée en PLI pour une feuille de 14 cm de diamètre (1200 PSIG).

La même direction de calandrage a été conservée sur tous les échantillons. Il existe un intervalle à l'intérieur duquel la pression appliquée sur la formette est presque constant. C'est donc à l'intérieur de cet intervalle de 6 cm que les analyses de peluchage ont été effectuées comme illustré sur la Figure 4.4.

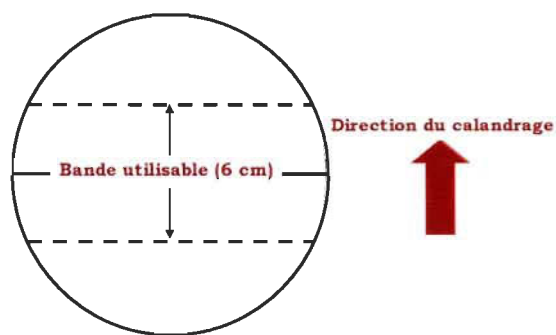


Figure 4.4 Bande utilisable sur les échantillons pour l'analyse de peluchage.

Le Tableau 4.3 illustre les paramètres utilisés lors du calandrage des échantillons. Ces conditions de calandrage ont été fixées dans l'objectif d'obtenir des taux de peluchage élevés. Il faut souligner qu'il ne s'agit pas de conditions d'usine mais plutôt de laboratoire. Une « méthode croisée » a été effectuée afin de pouvoir évaluer à chaque température, les trois différentes pressions établies.

Tableau 4.3 Paramètres de calandrage.

| Température (°C) | Pression | |
|---------------------|----------|--------|
| | (kN/m) | (PSIG) |
| 25 (pièce) | 20 | 310 |
| 50 | 85 | 810 |
| 75 | 150 | 1 320 |

4.3 Évaluation des additifs anti-peluchant

Le développement des stratégies chimiques de contrôle de peluchage passe par :

- la compréhension du mode d'action de ces additifs;
- l'association de l'additif avec une cause de peluchage;
- l'évaluation des additifs de contrôle de peluchage.

Pour se faire, deux groupes d'additifs ont été évalués. Des additifs traditionnels tels une émulsion d'amidon cationique liquide et une émulsion cire coagulant cationique. Un mélange d'esters de phosphate composé de 50% de mono et de diester (C8-C16), 33% de diéthanamine et 20% de composés non identifiés [38] a également été évalué. Finalement, nous avons été en mesure d'évaluer des esters de phosphate mono-C18.

Chaque additif a été testé avec des échantillons fabriqués dans les conditions spécifiques à celles de la partie précédente. Certains paramètres ont été établis dans le but d'atteindre

les objectifs de cette expérimentation. Les conditions de calandrage sélectionnées pour l'évaluation de nos échantillons contenant les additifs étaient les suivantes : température=75°C et pression=1320 psi. Seule la PTM a été utilisée durant cette partie pour des raisons qui seront expliquées dans la section résultats et discussion. Les mélanges suivants ont été réalisés :

- 14 % de glaise;
- 14 % de glaise modifiée (Capim C);
- 10 % et 50 % de fines d'origine thermomécanique;
- 15 % de fibres R28 provenant de pâte thermomécanique faiblement raffinée.

La glaise modifiée a été considérée comme ayant la même rétention que la glaise ordinaire. Les blancs ont été préparés à partir des mélanges évoqués plus haut exempts d'additifs. Le Tableau 4.4 illustre les conditions de consistance dans lesquelles cette étape s'est déroulée.

Tableau 4.4 Paramètres considérés pour la fabrication des blancs.

| Mélanges | Consistance (%) |
|--------------------------------------|-----------------|
| PTM + 10 % fines | 0,20 |
| PTM + 50 % fines | 0,23 |
| PTM + 15 % fibres R28 | 0,21 |
| PTM + 14 % glaise | 0,19 |
| PTM + 14 % glaise modifiée (Capim C) | 0,27 |

Pour ce qui est de l'utilisation des différents additifs, l'agent de rétention Organopol 5032 a été utilisé afin de pouvoir retenir l'additif dans la masse de la feuille durant sa fabrication. Le choix de cet agent de rétention avait pour objectif de permettre de rester

dans les mêmes conditions de rétention que celles de la première partie. Pour se faire, une solution à 1g/L de polymère a été réalisée sous agitation à environ 360 rpm pendant 50 min. Ce temps était nécessaire afin de rendre solubles toutes les particules solides de polymère. Après avoir apprêtés nos différents mélanges, la solution d'additif a été préparée sur la base suivante : fabrication d'une solution concentrée de 2 mg/mL pour chaque additif. Un volume x d'additif a été pesé, puis à partir de ce volume, le volume d'eau déminéralisé requis pour finaliser la solution a été déterminé. La masse sèche de la feuille (1,2 g) a été multipliée par les différents dosages de notre protocole expérimental c'est-à-dire 0,5 ou 5 mg d'additif. Pour les feuilles contenant la glaise, nous avons multiplié les dosages par 1,5 g. Ceci étant relié au fait que des feuilles de 1,2 g à base de glaise étaient trop fragiles et se brisaient sur la toile de la formette lors de leur fabrication. Une fois cette opération réalisée, le volume d'additif à prélever de notre solution a été déterminé. Ce volume étant destiné à être mélangé à l'intérieur de la formette anglaise. Pour les échantillons de 0,5 mg/g, le volume obtenu durant l'étape précédente a été divisé par la concentration initiale de la solution d'additif fixé préalablement. Finalement, le même protocole a été réalisé afin de déterminer le volume d'additif requis pour les échantillons à 5 mg/g.

Le protocole suivant a été utilisé, lors de la préparation des échantillons contenant les différents additifs :

- dosage du volume de pâte nécessaire pour la fabrication de la feuille (dépendamment de la masse de feuilles désirées : 1,2 g/sec ou 1,5 g/sec)
- agitation de la pâte à 360 rpm pendant 10 secondes
- addition de l'additif et agitation du mélange pendant 25 secondes
- addition de l'agent de rétention organopol 5032 et agitation du mélange pendant 35 secondes
- fabrication des feuilles à 1,2 g ou 1,5 g (exclusivement pour les échantillons contenant 14 % de glaise).

Le temps de 35 secondes, après ajout de l'agent de rétention, avait pour objectif de briser les floes formés lors de l'addition de l'agent de rétention. Après chaque série, nous avons procédé à une étape de séchage de 7 minutes des feuilles à travers l'unité de séchage. Ce type de séchage est requis lors de l'usage d'additifs à base de cire.

4.4 Caractérisation des feuilles

Une fois la totalité de nos échantillons produits une mesure de l'épaisseur des feuilles avant et après calandrage a été réalisée. Une étape de conditionnement des échantillons à 43 % d'humidité a été réalisée avant les tests de peluchage. Cinq échantillons par condition ont permis de collecter les données obtenues par le logiciel d'analyse de peluchage. Une analyse de l'eau blanche dans le but de vérifier la présence d'ester de phosphate et autres additifs a été réalisée.

Aucun design expérimental n'a été conçu dans la mesure où il a fallu refaire le zéro à chaque étape de notre expérimentation. Le zéro ici fait allusion aux feuilles exemptes de fibres fines, de fibres grossières et de glaise pour ce qui est de la première partie. Concernant la deuxième partie, le zéro fait référence aux échantillons de feuilles répondant aux exigences des paramètres de mélanges que nous nous sommes fixés sans additifs. Au total, 633 feuilles ont été fabriquées pour ce qui concerne la première partie et 265 pour la partie avec les additifs. Ce nombre d'échantillons de feuilles nous a permis non seulement d'effectuer les analyses de peluchage, mais aussi d'évaluer les propriétés comme l'épaisseur, le lustre, la rugosité, la porosité, la force de cohésion interne (Scott bond), le taux de cendres et l'hydrophobicité par l'angle de contact.

Le principe du lustre est de mesurer la réflexion dirigée d'un échantillon en fonction du matériau qui le compose et de l'angle d'illumination. Un angle d'illumination de 75° a permis de mesurer le lustre de nos échantillons [39]. Afin de pouvoir obtenir l'information relative quant à l'état de surface et au lissé de nos échantillons, une mesure de la rugosité à 1 960 kPa avec un support mou a été effectuée [40]. La porosité est l'ensemble des interstices présents à l'intérieur du réseau fibreux de nos échantillons. Le test de cohésion interne (Scott Bond) a été effectué selon la méthode TAPPI T833 pm-94

[41]. L'unité est le J/m^2 . L'hydrophobicité de la feuille permet de se renseigner sur l'état d'absorptivité de la surface. Lors de ce test, une goutte d'eau est déposée à la surface de la feuille puis la vitesse d'absorption de celle-ci est calculée en fonction de la variation de l'angle de contact [42]. Ce test génère des données permettant de se renseigner sur la capacité de l'encre et de la solution de mouillage à être absorbée une fois déposée sur la feuille.

Un conditionnement de nos échantillons à une humidité relative constante et stable de 43 % (environ 9 g d'eau/ kg d'air) à 22°C a précédé les analyses de peluchage. Le conditionnement à ce pourcentage d'humidité présente l'avantage de ne pas sécher nos échantillons et aussi d'avoir des valeurs d'humidité voisines de celles de la salle d'impression [43]. Seuls les tests de peluchage ont été réalisés dans ces conditions d'humidité, le reste des tests a été effectué dans des conditions standards. Des échantillons trop secs seraient susceptibles de faire varier de manière trop importante les résultats de nos analyses de peluchage. La Figure 4.5 illustre le taux de peluchage en fonction de l'humidité absolue.

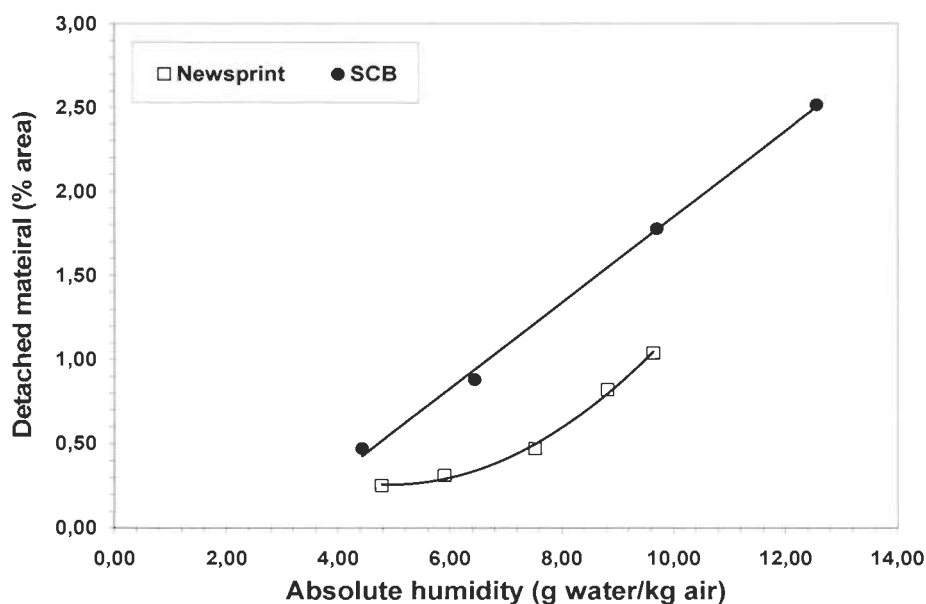


Figure 4.5 Effet de l'humidité sur les résultats des tests de peluchage pour un échantillon de papier journal et de SCB [43].

Le poids de 13 kg correspond à la masse du rouleau utilisé pour appliquer la pression sur le ruban adhésif lors de la mesure du pourcentage de matériel détaché. Pour ce qui est des feuilles contenant les fibres R28, elles ont été préparées avec de la PTM habituelle et les mélanges de fibres R28 à 5 et 25 % basés sur des calculs similaires à ceux effectués pour les mélanges avec les fibres fines.

Les tests de peluchage sont basés sur une combinaison de ruban adhésif et d'analyse d'images. Cette procédure d'analyse comporte deux étapes. La première consiste au découpage d'un ruban adhésif à faible collant, spécialement développé pour cette procédure. Il faut souligner que ce type de ruban adhésif particulier est peu sensible à l'humidité et d'autres paramètres comme la température susceptible d'influencer nos mesures. Des rubans de 15 cm par 10 cm ont été ensuite appliqués sur le côté toile (identifié) de nos échantillons de feuilles. Un rouleau de 2,5 kg de métal a été roulé à deux reprises sur les échantillons. Une fois enlevé, le ruban adhésif a été déposé sur une plaque de plastique noir et soumis à nouveau à deux passages avec le rouleau de 2,5 kg. La deuxième étape consiste à l'utilisation du logiciel d'analyse de peluchage développé au Centre de recherche (Figure 4.6). Le principe du logiciel est basé sur le calcul de la surface recouverte de fibres grâce au contraste et à la nuance de tons entre le fond noir de la plaque en plastique et les fibres arrachées. La Figure 4.6 illustre le déroulement des différentes étapes de mesure du potentiel de peluchage.

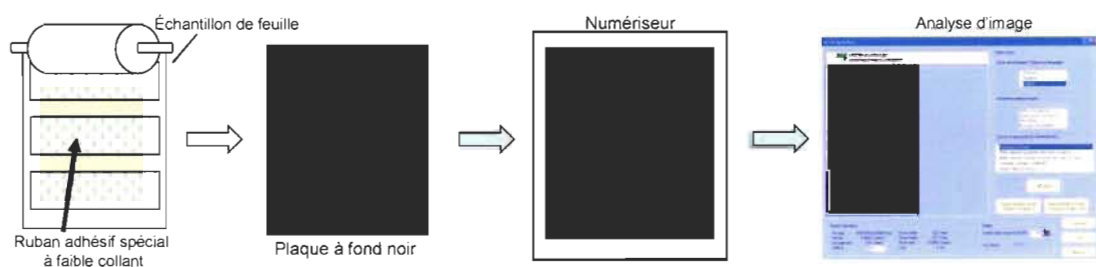


Figure 4.6 Méthode de mesure du potentiel de peluchage.

CHAPITRE 5

RÉSULTATS ET DISCUSSION

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats obtenus durant notre expérimentation. Nous aborderons ensuite le lien existant entre les rejets de papier et la pollution atmosphérique environnementale qui en découle. Finalement, nous discuterons sur le degré de pollution des esters de phosphate dans l'eau blanche.

5.1 Analyse descriptive

5.1.1 Production d'échantillons à potentiel peluchant élevé

La présence de fibres fines aboutit à une variation du pourcentage de peluchage dans les deux types de pâtes : mécanique et thermomécanique dont les résultats sont présentés sur la Figure 5.1. Celle-ci permet de noter qu'à première vue, la PM contenant les fines d'origine mécanique a une tendance au peluchage moindre que la PTM. Le maximum de peluchage observé avec le mélange de 50 % de fines se situe à 2,48 % de surface arrachée avec la PM comparativement à 5,97 % pour la PTM. Ceci est attribuable aux différences de conditions de fabrication des deux types de pâtes. En effet, à cause du procédé de raffinage et basé sur des analyses FQA, on retrouve dans la PM plus de fibres fines que dans la PTM [44]. C'est pourquoi les fibres de PM, plus facilement arrachées à la surface de la feuille, sont majoritairement (95 %) des fines de surface rugueuse et de taille inférieure à 0,3 mm [45]. Un prélèvement du matériel peluchant de PTM met en relief la présence de cellules de rayons médullaires et de fibres lisses, courtes de moins de 1 mm de longueur [45]. Le potentiel de liaison des fines, leur différence morphologique et dans le procédé de raffinage des deux types de pâtes sont autant de facteurs susceptibles d'engendrer une plus faible tendance au peluchage de la PM relativement à celle de la PTM. De plus, on note que l'ajout des fines dans nos mélanges a deux effets que l'on observe avec les deux types de pâtes :

- une réduction initiale du potentiel peluchant due à la consolidation de la feuille. Cette réduction a lieu avec l'ajout de 10 % et 30 % de fines ajoutées. Avec la PM, on obtient des taux de 0,65 % et 0,79 % de surface arrachée respectivement pour les mélanges de 10 % et 30 % de fines. Avec la PTM, les valeurs de peluchage sont de 4,93 % et 5,18 % de surface arrachée avec 10 % et 30 % de fines ajoutées. Les fines, de par leur énergie spécifique augmentent la force physique du papier et créent une meilleure liaison des fibres de surface [17]
- à des niveaux élevés de fines ajoutées (50 %), une hausse de la valeur de peluchage est observée. Le terme « fines » décrit aussi le matériel de remplissage issu des bois de la fabrication de papier [17]. À 50 % de fines ajoutées, nous avons limité la capacité de ces fibres à pouvoir effectuer des liens avec le réseau fibreux environnant.

La Figure 5.1 illustre l'effet de l'ajout des fines (mécanique et thermomécanique) sur le potentiel peluchant de PM et PTM. Les paramètres de calandrage des résultats présentés dans la Figure 5.1 étaient les suivants : température de 75°C et pression de 150 kN/m. Les résultats contenant les deux types de fines obtenus aux différents paramètres de calandrage de la première partie sont présentés à l'Annexe I (Figures A à C).

Bien que l'ajout de fines permette d'observer une baisse de la porosité pour ce qui est de la PTM, on observe très peu d'effet lorsque l'on change la nature des fines en enrichissant nos échantillons avec des fines de PM. La porosité agit sur la résistance humide du papier. Plus grande est la porosité, moins grande sera sa résistance humide et plus élevée sera la tendance au peluchage. D'une manière générale, on observe une perte de lustre pour les PTM corrélée à l'augmentation de la rugosité du papier [21]. Dans le cadre de notre analyse, on observe un gain de lustre en fonction de l'ajout de fines d'origine thermomécanique pour des échantillons de PTM et ce, peu importe la pression.

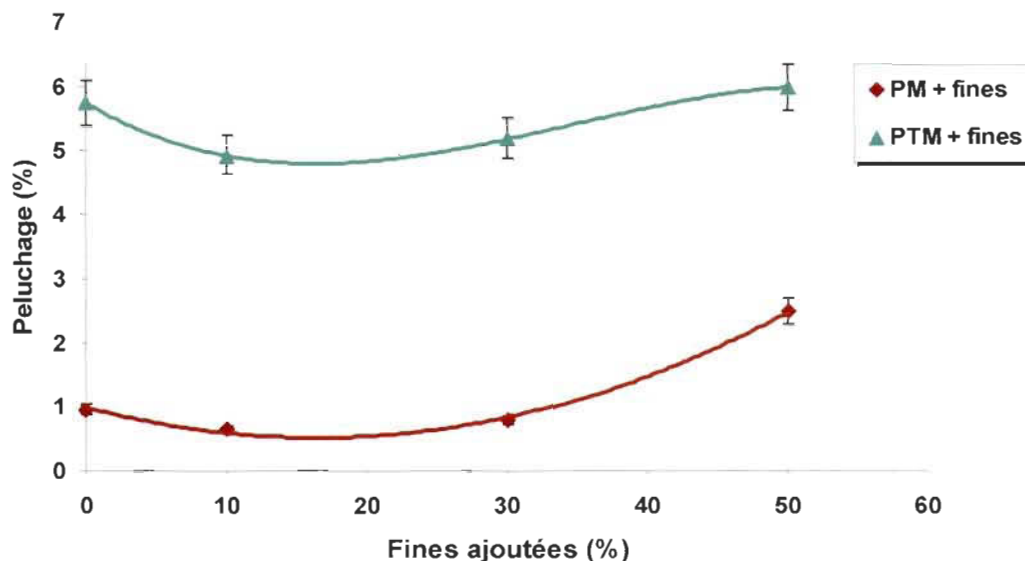


Figure 5.1 Effet des fines ajoutées sur le potentiel de peluchage

Cependant, de très faibles variations (de l'ordre de 3 unités de brillant maximum) sont observées lors de l'ajout de fines d'origine mécanique à l'intérieur d'échantillons de PM. Malgré cela, le lustre des échantillons de PM est supérieur à ceux de PTM. Or l'ajout de fines d'origine mécanique a très peu d'effet sur la rugosité comparativement aux fines d'origine thermomécanique avec lesquelles on peut observer une régression de la rugosité. Ceci confirme le fait que la rugosité du papier diminue avec l'augmentation du contenu en fines [18]. Toutefois, entre 30 % et 50 % de fines thermomécaniques ajoutées, la rugosité tend à rester constante. Concernant la PM, la rugosité de nos échantillons tend à rester constante (entre 1 et 2 μm dépendamment des conditions de pression et de température) malgré l'ajout de fines dans nos pâtes. Bien qu'ayant effectués les tests d'angle de contact et de Scott Bond, les résultats se sont avérés non exploitables et n'apparaissent donc pas à l'Annexe I.

Les fibres grossières R28 ont un faible potentiel de liaison fibre-fibre. Les résultats obtenus avec les fibres grossières R28 thermomécaniques faiblement raffinées permettent d'observer un accroissement linéaire du potentiel peluchant (Figure 5.2). Dans le mesure où il s'agit clairement d'une perte nette de force (surface arrachée supérieure à 4 % avec l'ajout de fibres grossières) on peut parler de délamination par

rapport à la notion de peluchage. Cependant, nous auront recours au terme peluchage afin de garder une certaine linéarité de nos explications. La Figure 5.2 présente l'effet de l'ajout de fibres grossières R28 sur le potentiel de peluchage d'une PTM. Le pourcentage de peluchage passe de 4,57 % de surface arraché (5% de fibres R28 ajoutées) à 6,72 % (25 % de fibres R28 ajoutées). L'ajout de fibres R28 dans nos mélanges n'a fait qu'enrichir nos échantillons en « buchettes », c'est-à-dire en matériel à faible potentiel de liaison. Le gain de peluchage observé est fonction de la quantité de fibres R28 ajoutée. Les paramètres de calandrage des résultats présentés étaient les suivants : température de 75°C et pression de 150 kN/m. Les résultats contenant les fibres R28 obtenus aux différents paramètres de calandrage sont présentés à l'Annexe I (Figures D à F).

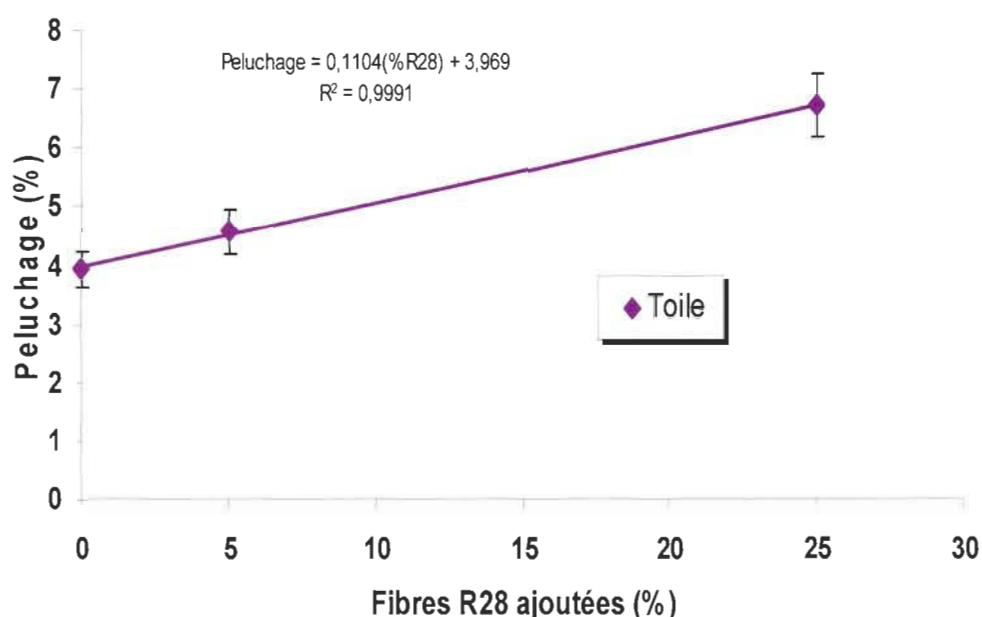


Figure 5.2 Effet des fibres R28 ajoutées sur le potentiel de peluchage

L'ajout des fibres grossières R28 dans nos échantillons aboutit à l'apparition d'interstices dans le réseau fibreux de la feuille. Cela se traduit par une augmentation de plus de 45 % de la porosité pour ce qui est des échantillons calandrés à 20 kN/m. En outre, on remarque que l'ajout des fibres R28 dans nos échantillons de PTM a deux effets sur le lustre. Le premier est un gain de lustre pour un ajout de 5 % de R28. Le

deuxième est une perte de lustre observée à 25 % de fibres R28 ajoutées. L'ajout de fibres grossières R28 dans nos échantillons de PTM se traduit par une hausse de la rugosité. Ce constat permet faire le lien entre la hausse de rugosité reliée à l'ajout des fibres R28 et la hausse de peluchage. Bien que non linéaire, cette hausse s'amplifie à 25 % de fibres R28 ajoutées.

L'utilisation de charges minérales dans le domaine papetier est très répandue. La Figure 5.3 montre l'effet de la glaise ajoutée sur le taux de peluchage pour une PTM. Il est à noter une fois de plus qu'il s'agit ici de délamination et non de peluchage à cause d'une perte nette de force et au regard des valeurs de surface arrachée obtenues. Cependant, nous auront recours au terme peluchage afin de garder une certaine linéarité de nos explications.

L'enrichissement de nos échantillons en glaise se caractérise par une augmentation systématique du potentiel de peluchage. À 14 % de glaise ajoutée, le taux de peluchage est de 16,18 % de surface arrachée. Le pourcentage de surface arrachée passe à 24,06 % avec 34 % de glaise ajoutée. L'enrichissement de nos échantillons de PTM avec cet agent nous a permis de constater une perte de la force du papier se traduisant par une augmentation systématique du potentiel de peluchage. La glaise est un agent de remplissage qui confère certes de la brillance au papier, mais aucune force de surface au papier. Les paramètres de calandrage des résultats présentés à la Figure 5.3 sont les suivants : température de 75°C et pression de 150 kN/m. Les résultats des essais contenant la glaise obtenus aux différents paramètres de calandrage sont présentés à l'Annexe I (Figures G à J).

La caractérisation de nos échantillons PTM contenant de la glaise à savoir 14 % et 34 % a été vérifiée à l'aide du taux de cendres dont les résultats sont présentés dans le Tableau 5.1. Celle-ci permet de faire la correspondance entre le pourcentage théorique de glaise introduit dans nos échantillons et le pourcentage réel présent après séchage. Au regard des résultats obtenus dans ce tableau, on peut noter qu'une marge de $\pm 0,31$ % pour les échantillons contenant 34 % de glaise et $\pm 3,75$ % pour ceux contenant 14 % de glaise.

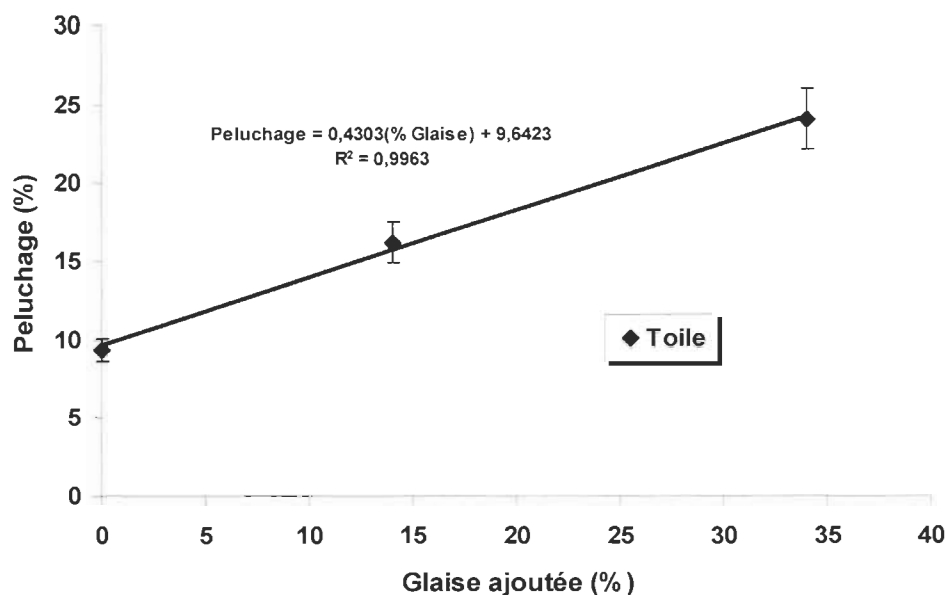


Figure 5.3 Effet de la glaise ajoutée sur le potentiel de peluchage

Ces résultats nous permettent de noter l'absence de charges minérales à l'intérieur des échantillons exempts de glaise c'est-à-dire avec 0 %, 10 % et 50 % de fines d'origine thermomécanique.

Tableau 5.1 Taux de cendres obtenus avec les différents échantillons de PTM

| Échantillons | Taux de cendres (%) |
|----------------------|---------------------|
| PTM + 34 % de glaise | 34,31 |
| PTM + 14 % de glaise | 17,75 |
| PTM sans glaise | 0,55 |
| PTM + 10 % fines | 0,61 |
| PTM + 50 % fines | 0,60 |

D'une manière générale, on observe une régression de la porosité avec l'ajout de la glaise en fonction de la température. Cette réduction est d'autant plus importante lorsque la pression est élevée. C'est pourquoi, à une température de 50°C et une pression de

150 kN/m, pour 14 % de glaise ajoutée, on se situe à environ 90 ml/min de porosité contre 50 ml/min lorsque la température passe à 75°C pour une pression similaire. Comme mentionnée plus haut, la glaise est utilisée comme agent de remplissage et permet de réduire la porosité des feuilles. Les différents graphes pour ce qui est de la porosité de nos échantillons sont présentés à l'Annexe I. Une autre différence importante est celle observée par rapport au lustre des échantillons. On peut noter que pour une PTM contenant de la glaise, à une même température, on observe une augmentation du lustre en fonction de la pression de calandrage. Toutefois, l'ajout de glaise a très peu d'effets sur le lustre de nos échantillons (variation d'une unité de brillant à 14 % de glaise). Cette observation confirme le fait que la glaise confère plus de brillance bien qu'occasionnant par le fait même une perte de force du papier. Comme on pouvait s'y attendre, l'enrichissement de nos échantillons de PTM en glaise se traduit par une perte de rugosité de la feuille. Les charges minérales viennent combler les interstices présents à la surface du papier.

L'analyse des différents échantillons de notre expérimentation à travers le FQA permet d'obtenir des graphes de distribution du taux des différentes fibres considérées dans un échantillon quelconque en fonction de la catégorie de la longueur de fibre. Ces graphes permettent d'observer le profil de longueur de fibres contenu dans un échantillon de pâte thermomécanique ou mécanique. La quantité des différentes fibres présente dans deux échantillons de pâte mécanique en fonction de la catégorie de longueur de fibres est présentée sur la Figure 5.4. Le premier échantillon de pâte contient 10 % de fines pâte mécanique ajoutées et le deuxième 50 %. La distribution de longueur de fibres pour des échantillons de pâtes thermomécaniques est représentée sur la Figure 5.5. On retrouve un échantillon de PTM contenant 10 % de fines d'origine thermomécanique, un autre contenant 50 % et le dernier 5% de fibres R28 issues de PTM2 (peu raffiné) mélangé avec de la PTM habituelle. Ces différentes distributions illustrent bien la concordance des paramètres que nous nous sommes fixés pour atteindre nos objectifs de recherche et la réelle contenance des mélanges que nous avons effectués.

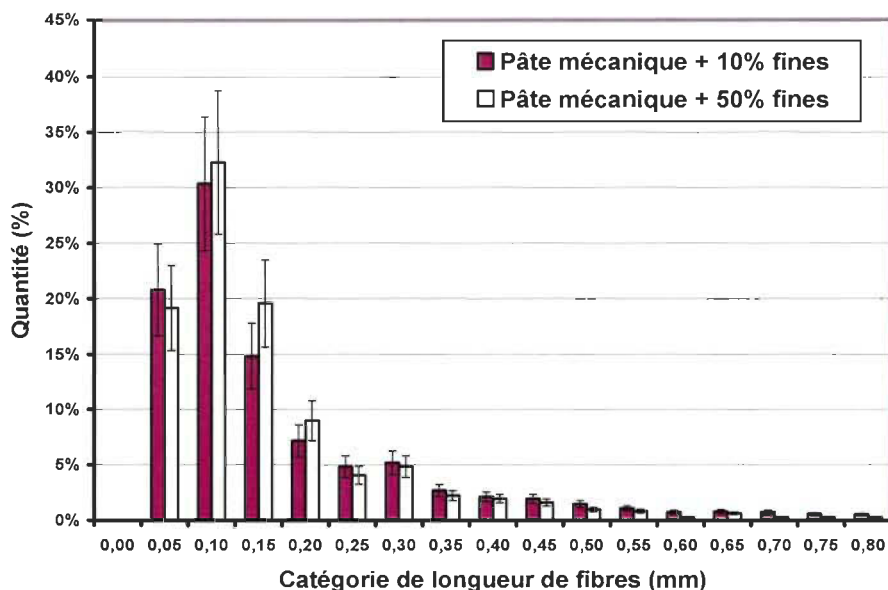


Figure 5.4 Distribution FQA de la quantité de longueur de fibres d'une pâte mécanique

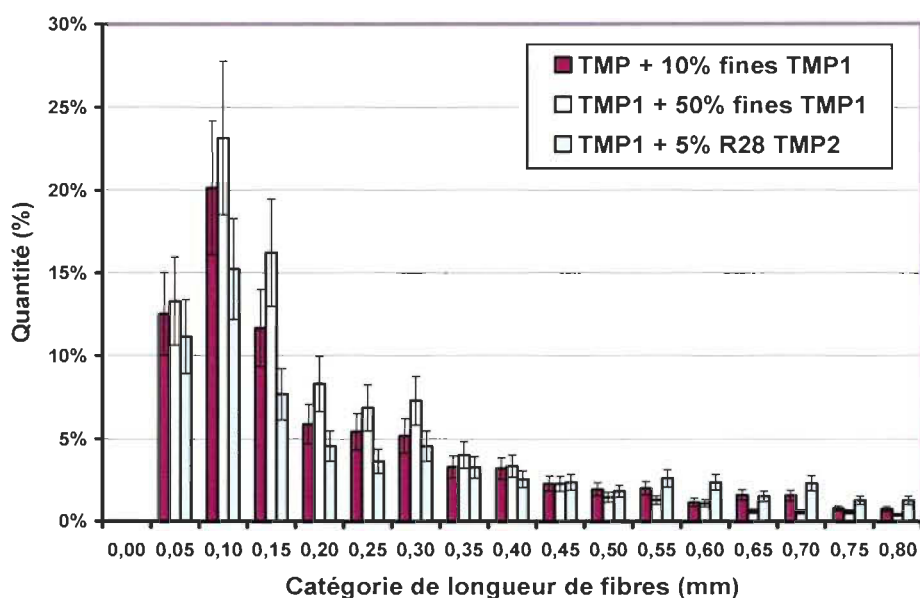


Figure 5.5 Distribution FQA de la quantité de longueur de fibres d'une PTM et de fibres R28 (PTM2)

Bien qu'il ait été démontré que la température de calandrage réduit le peluchage [19], la température utilisée lors de nos essais n'était pas suffisamment élevée pour pouvoir

observer des effets sur la tendance au peluchage. Cette température de 75°C est insuffisante pour pouvoir provoquer un changement d'état de la lignine caractéristique du phénomène de « thermoplastification » produit par la chaleur et responsable de la réduction de peluchage. Toutefois, les résultats obtenus montrent que l'augmentation de la pression de calandrage a réduit le peluchage de nos échantillons de PTM (Figure 5.6). La Figure 5.6 illustre la réduction de peluchage obtenue avec des feuilles de PTM en fonction des différentes pressions de calandrage soit : 20 kN/m, 85 kN/m et 150 kN/m et à une température de 50 °C. Le maximum de réduction est obtenu lorsque la pression est maximale soit 150 kN/m. L'épaisseur de la feuille est liée à l'augmentation de la rugosité de la surface ainsi que la perte de lustre [46]. Lors du passage de la feuille à travers le point de contact de la calandre, on constate qu'il y a réduction de l'épaisseur de la feuille. Nous remarquons que cette réduction d'épaisseur a un impact sur l'amélioration du lissé de la feuille en réduisant sa rugosité, sa porosité et en augmentant son lustre.

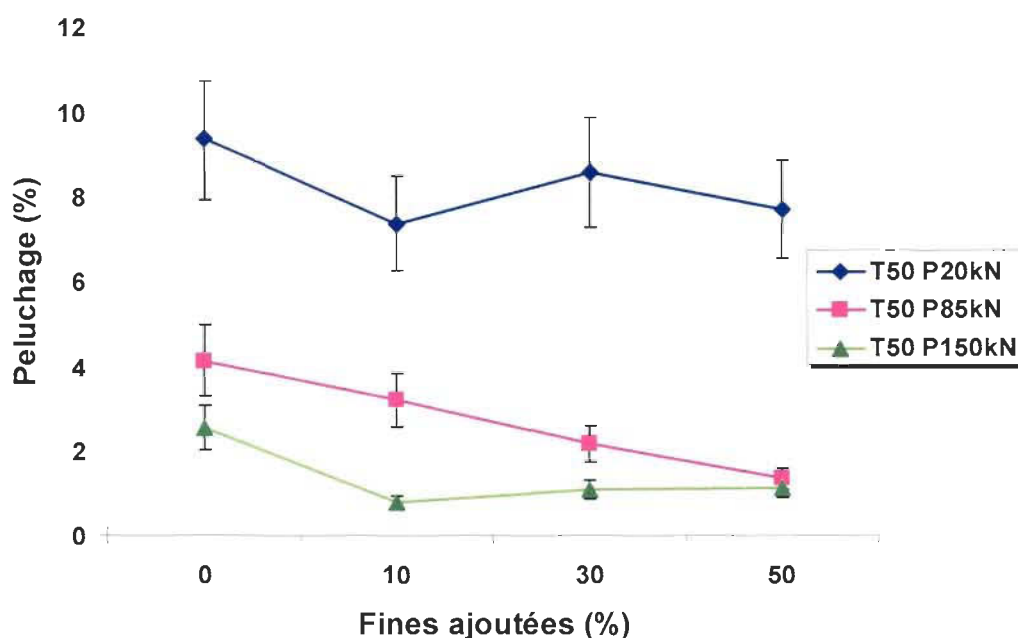


Figure 5.6 Réduction du peluchage en fonction des fines ajoutées et de la pression de calandrage pour une PTM à 50°C

5.1.2 Évaluation des additifs antipeluchants

Il est à noter que durant cette évaluation, nous avons mesuré deux notions : le peluchage et l'arrachage ou délamination des fibres à la surface du papier. Il existe une nuance entre ces deux phénomènes, le facteur commun étant bien sûr le développement inadéquat des fibres à la surface [6]. Lors de l'arrachage des fibres, on observe sur l'image issue du ruban adhésif des amas de fibres (longues, moyennes et courtes) comme c'est le cas sur la Figure 5.7. Celle-ci illustre la présence de fines caractéristiques du phénomène de peluchage c'est-à-dire de matériel fibreux à faible potentiel de liaison possédant une énergie spécifique de surface insuffisante.

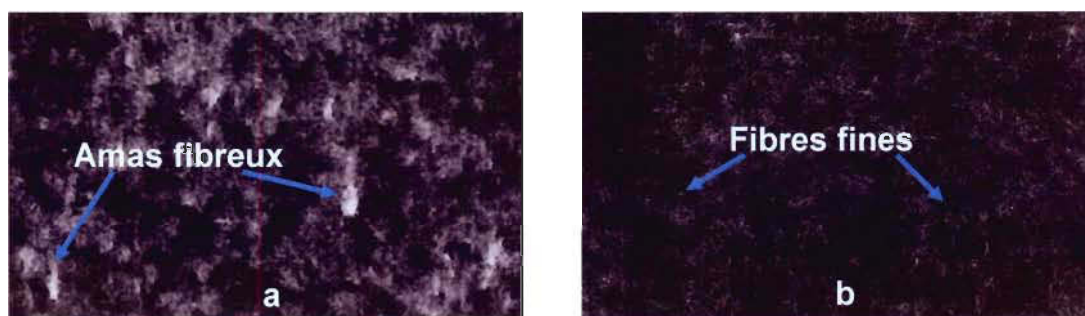


Figure 5.7 Images typiques scannées de la composition des phénomènes d'arrachage (a) et de peluchage (b) sur des feuilles PTM.

Étant donné que l'objectif de notre expérimentation est l'évaluation d'additifs de contrôle de peluchage, nous nous sommes focalisés sur les données inférieures ou égales à 7 % de matériel détaché (Figure 5.7b – 3,01 % de surface arrachée) à la surface de nos différents échantillons. Soulignons qu'il s'agit d'une valeur arbitraire que nous nous sommes fixés. Les données supérieures à cette valeur (Figure 5.7a – 9,17 % de surface arrachée) sont considérées comme appartenant au phénomène d'arrachage à cause de la présence d'amas fibreux et sont donc hors de notre champ d'études.

Dans un second ordre, nous avons procédé à la caractérisation de nos échantillons PTM contenant les différents additifs que nous avons utilisés. Le Tableau 5.2 montre les

résultats de l'analyse de cendres dans nos différents échantillons contenant 14 % de glaise. Une fois de plus, cette analyse permet d'avoir une idée entre le pourcentage théorique de glaise introduit dans nos échantillons et le pourcentage réel présent après séchage.

Tableau 5.2 Taux de cendres obtenus avec les différents échantillons de PTM

| Échantillons | Taux de cendres (en %) |
|-------------------------------|------------------------|
| 14 % de glaise (blanc) | 19,00 |
| 14 % de glaise Capim C | 19,44 |
| 14 % de glaise + PEC18 5mg | 16,49 |
| 14 % de glaise + PEC18 0,5 mg | 17,37 |
| 14 % de glaise + AC 5mg | 20,08 |
| 14 % de glaise + AC 0,5 mg | 17,80 |
| 14 % de glaise + MEP 5mg | 15,34 |
| 14 % de glaise + MEP 0,5mg | 15,23 |
| 14 % de glaise + ECCC 5mg | 17,94 |
| 14 % de glaise + ECCC 0,5 mg | 16,55 |

La Figure 5.8 montre le pourcentage de peluchage en fonction des différents mélanges de PTM considérés pour le blanc et les deux dosages établis en présence d'esters de phosphate mono-C18. La réduction du potentiel de peluchage en présence de cet additif ne s'opère qu'avec le mélange de PTM et 10 % de fines. À première vue, on constate que la réduction de peluchage se situe à 2,62 % de surface arrachée pour le dosage de 0,5 mg/g par rapport à 3,62 % obtenue avec 5 mg/g. Les esters de phosphates sont des agents tensioactifs c'est-à-dire qu'ils vont modifier la tension de surface de la feuille en la rendant moins adhérente. En augmentant la concentration, la feuille absorbe plus d'eau et voit son temps de séchage augmenter. Cette absorption accrue résulte en une perte de force du papier à sa surface et entraîne donc une augmentation du taux de peluchage lorsque la concentration de l'additif passe de 0,5 à 5 mg/g. Concernant le

mélange à 14 % de glaise, il s'agit d'une réduction de l'arrachage et non du peluchage. L'ester de phosphate mono C18 n'a aucun effet sur les mélanges avec 15 % de R28 et 50% de fines.

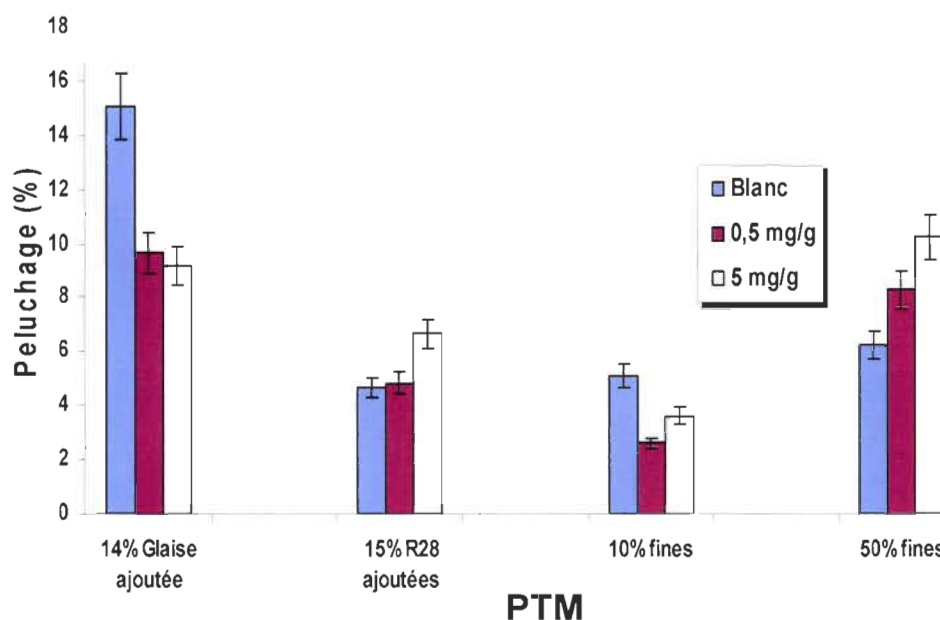


Figure 5.8 Peluchage en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'ester de phosphate mono-C18.

Il est à noter aussi que les esters de phosphate mono C18 n'ont eu aucun effet sur la porosité et la rugosité de nos échantillons. Les maximums d'augmentation de porosité sont observés avec les mélanges de PTM contenant 15 % de fibres R28 et 10 % de fines. La valeur maximale de porosité se situe à 1 546,9 ml/min avec le mélange de 15 % de fibres R28 ajoutées contenant 5 mg/g d'additif sachant que sans additif la porosité est évaluée à 737,1 ml/min pour un mélange similaire. Les résultats de porosité et rugosité sont présentés à l'Annexe II (Figures K et L). Cependant, nous avons noté des pertes de lustre dans tous nos mélanges. Des pics de perte de 16,2 et 16,4 unités de brillant ont été obtenus respectivement pour 0,5 et 5 mg/g d'additif avec les mélanges PTM de 10 % de fines par rapport au blanc équivalent à 25,5 unités de brillant. Afin de pouvoir apprécier

l'ordre de grandeur de ces pertes de lustre, les résultats sont présentés à l'Annexe II (Figure M).

Le mélange d'esters de phosphate est composé de mono et diester de C8 à C16 [38]. La Figure 5.9 présente le taux de peluchage des mélanges de PTM avec les dosages que nous nous sommes fixés en présence d'une solution de mélange d'esters de phosphate. Cet additif est en mesure de réduire le peluchage des échantillons de PTM contenant 10 % de fines d'origine thermomécanique. Pour ce qui est du dosage de 0,5 mg/g d'additif, une réduction de 43 % du potentiel de peluchage est atteinte en comparaison à 24 % de réduction obtenue avec 5 mg/g d'additif. Comme vu précédemment, le mélange d'esters de phosphate est un mélange de tensioactifs de la famille des surfactants [32]. Une fois introduits dans la feuille, ils agissent comme agent de relâche interne et diminuent l'angle de contact. L'augmentation du dosage occasionne une perte de force de nos feuilles par accroissement de l'absorption en eau. Soulignons que la solution d'ester de phosphate n'a eu aucun effet de réduction du peluchage sur les autres mélanges de PTM soit : 15 % de fibres R28 et 50 % de fines ajoutées.

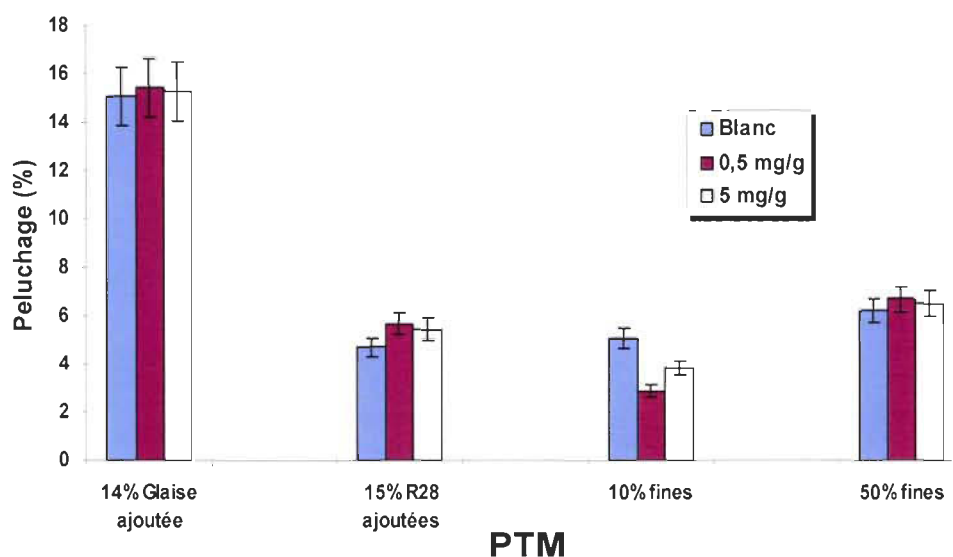


Figure 5.9 Peluchage en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'un mélange d'esters de phosphate.

Les résultats de l'analyse des tests complémentaires permettent de noter que notre mélange d'esters de phosphate n'a réduit ni la porosité, ni la rugosité de différents échantillons de PTM. Dans tous les cas il y a eu augmentation de ces deux entités par rapport aux blancs. Pour ce qui est du lustre, il a été réduit avec tous les mélanges de PTM que nous avons effectué. Ce constat était prévisible dans la mesure où les fibres agencées de manière irrégulière à la surface du papier modifient grandement l'exposition de celles-ci par rapport au faisceau lumineux de l'appareil de mesure du lustre. (Les différentes figures sont présentes à l'Annexe II (Figures N à P).

Afin de pouvoir évaluer l'efficacité de l'amidon cationique liquide sur la tendance au peluchage, les dosages de 0,5 et 5 mg/g d'additif ont été réalisés sur des feuilles de 1,2 g sec.

La Figure 5.10 montre que l'amidon cationique n'est efficace que dans deux mélanges soit : PTM contenant 10 % et 50 % de fines d'origine thermomécanique. Cet additif contient des charges cationiques qui peuvent être retenues dans la feuille. À l'intérieur de celle-ci, ces charges augmentent la cohésion du réseau fibreux [32]. Dans nos mélanges, l'amidon cationique adhère aux fibres de nature anionique et réduit la répulsion électrostatique régulièrement présente à la surface du papier. Le résultat est une augmentation de l'énergie spécifique de surface des fines et donc la réduction du peluchage pour les mélanges de 10 % et 50 % de fines.

Concernant le mélange de PTM avec 10 % de fines, l'augmentation du dosage de 0,5 à 5 mg/g d'additif crée des conditions de « surcationisation ». Cette « surcationisation » engendre la création de forces répulsives entre les fibres. Cette condition favorise l'arrachage des fibres à la surface de la feuille et l'augmentation du potentiel de peluchage qui passe de 2,43 % de surface arrachée (0,5 mg/g) à 3,01 % de surface arrachée (5 mg/g). Ceci traduit une baisse d'efficacité de 9 % de l'additif.

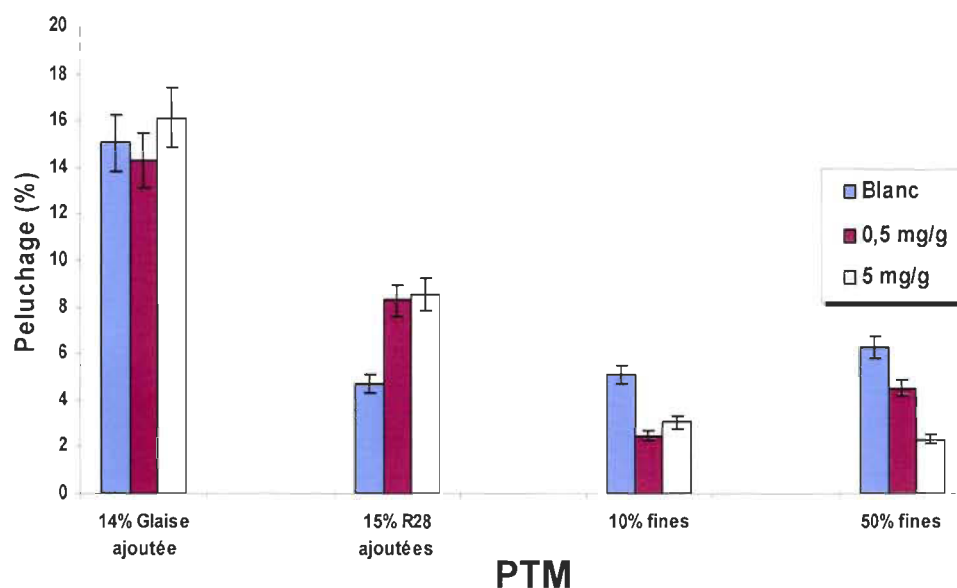


Figure 5.10 Peluchage en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'amidon cationique liquide.

Concernant le mélange avec 50 % de fines, on constate que l'augmentation du dosage de l'additif amplifie l'effet de réduction du peluchage. En effet, il passe de 4,49 % de surface arrachée c'est-à-dire 28 % d'efficacité (0,5 mg/g) à 2,28 % de surface arrachée soit 64 % d'efficacité. Cette amplification vient sans doute du fait que la concentration plus élevée en fines dans ce mélange permet, malgré les conditions, à l'additif d'interagir avec un volume de fines plus important.

En d'autres termes, dans le contexte d'un additif cationique, plus il y a de fines, plus l'augmentation de la concentration de l'additif est efficace à cause de la prise en charge des fines anioniques par les charges cationiques de l'additif.

La Figure 5.11 explique le phénomène qui se produit lors de l'augmentation de la concentration de l'amidon cationique dans un mélange riche en fines (50 % de fines).

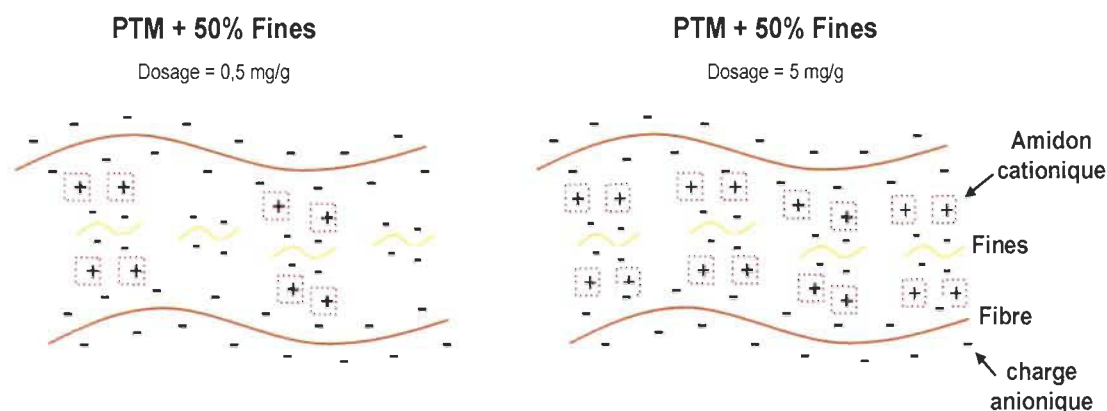


Figure 5.11 Mécanisme suggéré d'amplification de la prise en charge des fines par les charges cationiques de l'amidon.

En plus des résultats du taux de peluchage, les tests complémentaires traduisent une augmentation de la porosité dans tous les mélanges marqués par un maximum observé avec les mélanges de PTM contenant 10 % de fines. La porosité passe de 195,2 mL/min sans additif à 1 059,2 mL/min avec 0,5 mg/g d'additif. Dans les mélanges de PTM contenant 50 % de fines, l'augmentation est moins marquée passant de 85,6 mL/min avec le blanc à 302,3 mL/min dans le dosage à 0,5 mg/g. Le volume de fines plus important que celui contenu dans le mélange de 10 % de fines est à l'origine de cette baisse de porosité. On remarque aussi une hausse de la rugosité avec l'ajout d'amidon cationique liquide dans tous nos mélanges. Le maximum de gain équivaut à 0,88 micron (0,5 mg/g d'amidon cationique liquide) est observé avec les mélanges de 10 % de fines. Ces tests sont aussi marqués par la perte de lustre de tous nos mélanges de PTM. Les figures présentant les résultats des tests complémentaires sont en annexe (Annexe II Figures Q à S).

D'une manière générale, l'émulsion cire coagulant cationique (ECCC) est l'additif traditionnel de l'industrie papetière ces dernières années. Comme son nom l'indique, cet additif à base de cire a pour objectif de recouvrir les fibres d'une couche hydrophobe. La Figure 5.12 illustre le taux de peluchage des mélanges de PTM aux dosages que nous avons fixés en présence d'une solution d'ECCC. En dépit des croyances qu'on pu se

faire bon nombre de spécialistes du domaine papetier, cet additif ne montre aucune efficacité dans la réduction du potentiel de peluchage des échantillons de PTM.

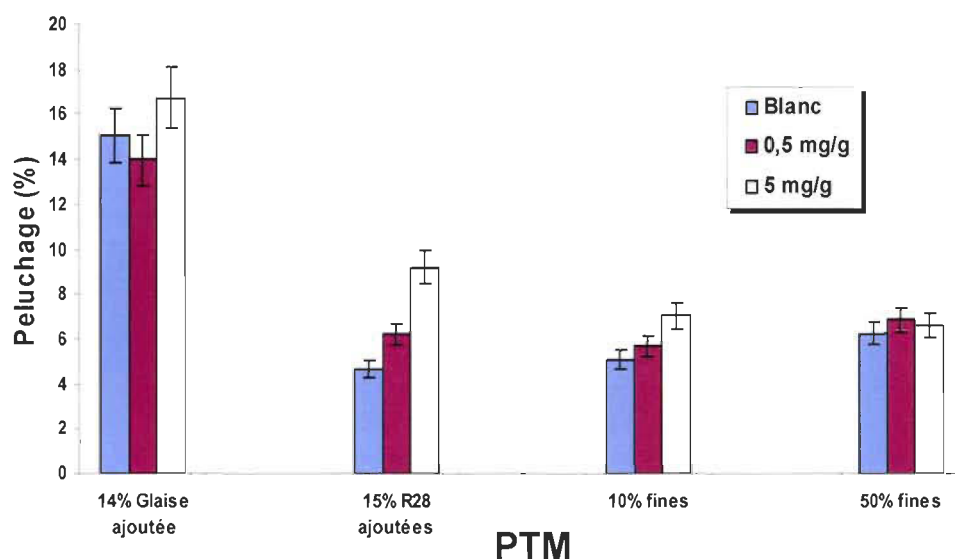


Figure 5.12 Peluchage en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'émulsion cire coagulant cationique.

Les analyses complémentaires effectuées sur nos mélanges en présence d'émulsion cire coagulant cationique permettent de noter une hausse marquée de la porosité avec des maximums observés avec les mélanges de PTM et fibres R28 ajoutées. Cette augmentation passe de 737,1 mL/min pour les blancs à 1 457,9 mL/min au dosage de 5 mg/g d'additif. C'est aussi le constat qui a été fait sur la rugosité de tous les échantillons. Cependant, des pertes de lustre ont été observées sur tous les mélanges de PTM comme ce fut le cas avec les additifs précédents. Les figures présentant les résultats des tests complémentaires sont en annexe (Annexe II Figures T à V).

La Figure 5.13 et la Figure 5.14 dressent le portrait des mélanges de 10 % de fines ajoutées avec tous les additifs afin de pouvoir comparer leur efficacité. Il s'agit de faire la synthèse des graphes de tous les additifs utilisés durant notre expérimentation, en

portant une attention particulière au pourcentage d'efficacité de réduction de peluchage de chaque additif en présence d'une quantité précise de fines ajoutées.

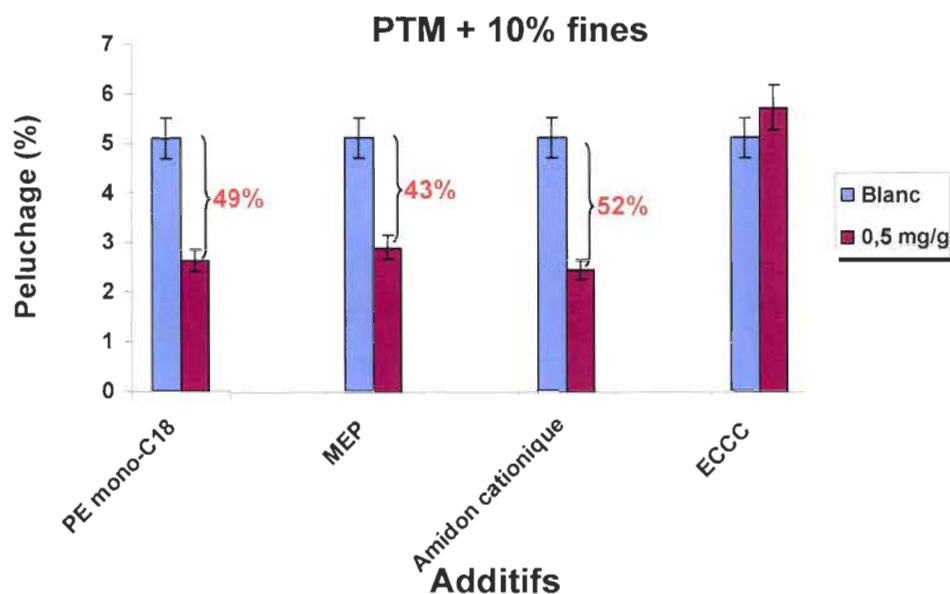


Figure 5.13 Peluchage en fonction de tous les additifs dosés à 0,5 mg/g dans un mélange de PTM contenant 10 % de fines ajoutées.

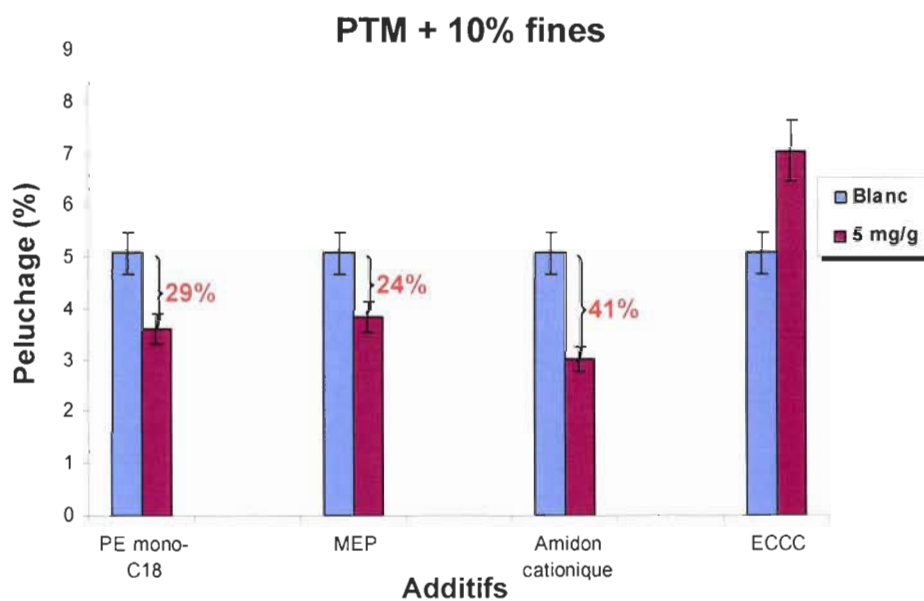


Figure 5.14 Peluchage en fonction de tous les additifs dosés à 5 mg/g dans un mélange de PTM contenant 10 % de fines ajoutées.

5.2 Analyse relationnelle

5.2.1 Corrélation des rejets de papier en imprimerie avec la pollution environnementale qui en découle

L'industrie papetière consomme beaucoup d'eau et de produits chimiques. Les demandes grandissantes des clients pour avoir un papier plus blanc a fait croître la consommation de produits chimiques comme la soude utilisée pour le blanchiment du papier recyclé. Le procédé de recyclage du papier rejette également des quantités importantes de contaminants dans l'eau et l'air à cause de la production de déchets qui en découle. La Figure 5.15 montre les impacts environnementaux associés la fabrication de papier de sa production à son utilisation.

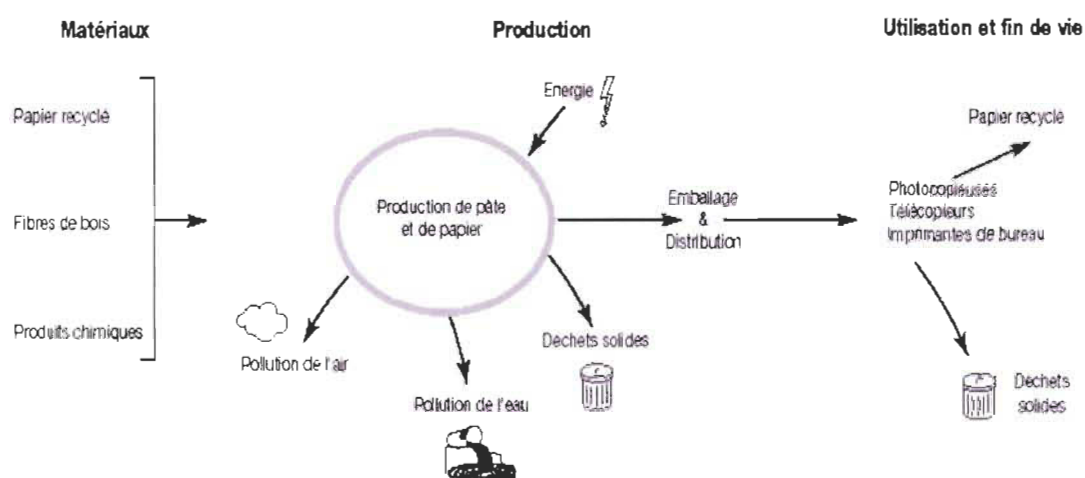


Figure 5.15 Cycle de vie du papier et impacts environnementaux associés [47]

Comme on peut le noter, à chaque étape de son cycle de vie et quel que soit le nombre de cycles effectués, il y a consommation d'énergie, qui résulte en pollution de l'air et de l'eau et production de déchets solides.

Une importante pollution de l'air s'effectue lors du transport de ces quantités phénoménales de papier de la production au recyclage en passant par l'utilisation. À titre d'exemple, en termes de pollution atmosphérique, on peut penser au dégagement d'oxyde d'azote lié au transport de papier rebuts destiné au recyclage. La Figure 5.16

présente les quantités rejetées d'oxyde d'azote dans l'air via différents moyens de transport pour un papier initialement produit au Canada, puis utilisé aux États-Unis. Une fois de retour au Canada, ce papier poursuivra son voyage jusqu'en Chine en passant par le Québec et la Colombie-Britannique pour être utilisé dans du papier ou du carton recyclé. Les données d'Environnement Canada combinées à la distance parcourue nous permettent d'apprécier les quantités d'oxyde d'azote émises en tonnes à chaque étape du voyage. La quantité journalière de monoxyde d'azote produite a été multipliée par la distance en kilomètre du point de départ au point d'arrivée en considérant que le trajet s'effectue sans arrêt.

Le papier rebut qui quitte l'Ouest américain à destination du Québec par voie terrestre engendre l'émanation de 1 424 tonnes d'oxydes d'azote dans l'atmosphère. Du Québec, ce papier est acheminé vers le Nord-est américain par voie terrestre en rejetant 415 tonnes d'oxyde d'azote dans l'air. De la côte-ouest américaine, le papier rebut est acheminé la Chine par voie maritime, produisant ainsi 4 326 tonnes d'oxyde d'azote dans l'atmosphère. Il faut aussi mentionner le fait que bon nombre de pays de l'union européenne comme la France, l'Allemagne, le Royaume-Uni et l'Espagne exportent leurs vieux papiers journal vers la Chine. Cette exportation, qui se fait habituellement par voie maritime, produit 7 725 tonnes d'oxyde d'azote [48].

L'impact environnemental de ce flux de papier à travers la planète est colossal. Sur le plan économique, cette présence accrue des acheteurs chinois sur le marché du papier rebut se traduit par une difficulté d'approvisionnement des usines de recyclage locales. Le tri de papier étant moins cher en Chine, les concurrents chinois offrent de meilleurs prix aux récupérateurs. Cette nouvelle réalité fait que cette profession est de plus en plus menacée par la réalité asiatique dont la demande en vieux papier ne cesse de croître chaque année.

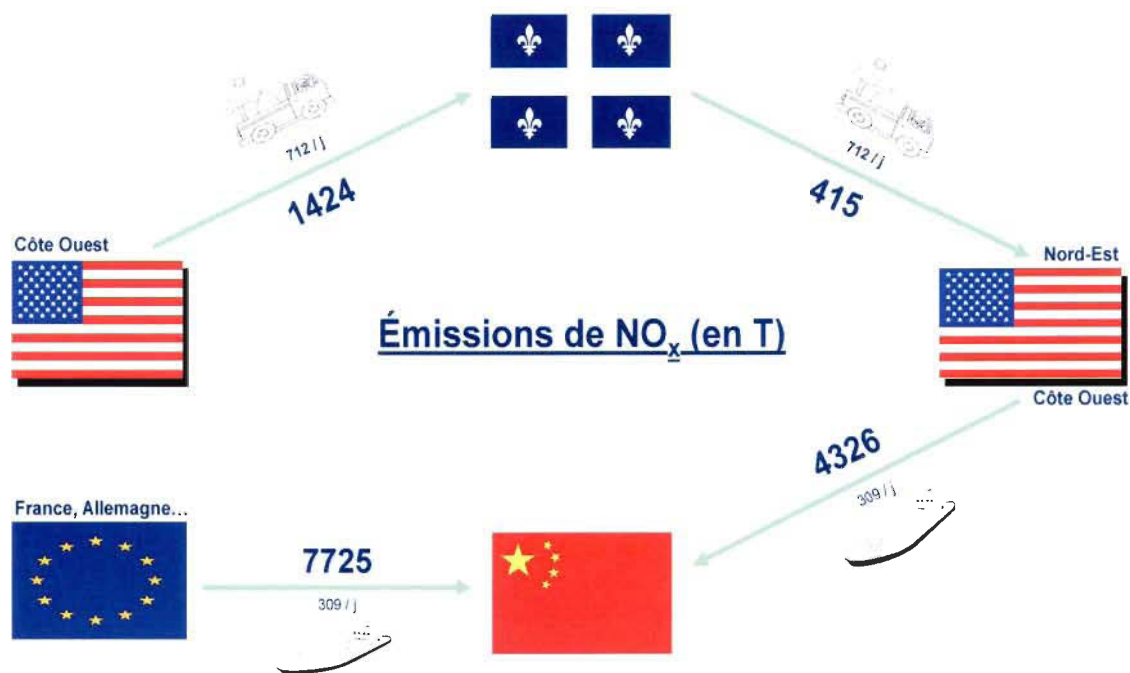


Figure 5.16 Quantité de NO_x émises dans l'air durant le transport du papier.

Finalement, la réduction du problème de peluchage par l'utilisation des additifs que nous avons pu évaluer s'avère une voie intéressante dans la mesure où ils sont capables de réduire les pressions environnementales engendrées par ces quantités astronomiques de ces papiers rejets.

5.2.2 Degré de pollution des esters de phosphate présents dans l'eau blanche – Étude de cas.

Considérons une usine qui fabrique du papier avec un produit à base d'ester de phosphate (50 % mono et 50% diester, longueur de chaîne C16) afin de prévenir tout problème de qualité d'impression de type peluchage. Sachant que l'usine utilise 1 kg d'ester par tonne du papier produit, pour 1000 tonnes de papier produit quotidiennement avec cet ester, il y aura 1 tonne d'esters de phosphate appliquée par jour. Lors de la fabrication de ce papier, il y a production de déchets de type phosphate. Posons-nous la question à savoir quel serait le pourcentage de PO_4 présent dans l'eau rejetée de l'usine. La masse molaire du phosphate est 94,94 g/mol. Lorsqu'on ajoute à ce poids la masse molaire du C16 (mélange mono et diester) c'est-à-dire 338,16 g/mol, on obtient une

masse molaire totale pour le mélange des deux types d'esters de 433,10 g/mol. Le pourcentage de phosphate produit se calcule comme suit :

$$\text{PO}_4 \text{ total} = \frac{94,94 \text{ kg PO}_4}{1000 \text{ mol Ester}} \times \frac{1000 \text{ mol Ester}}{433,10 \text{ kg Ester}} \times \frac{1000 \text{ kg Ester}}{1 \text{ jour production}} = \frac{217 \text{ kg PO}_4}{\text{jour production}}$$

Donc 217 kg de phosphate sont produits quotidiennement par cette usine. En supposant que 50 % du produit est retenu à l'intérieur du papier lors de sa fabrication, il ne reste que 109 kg de phosphate rejetés dans l'eau de l'usine. Les usines de fabrication de papiers sont dotées de deux unités de traitements des effluents (traitements primaire et secondaire). On effectue ces traitements en vue d'assurer le respect des limites relatives à la demande biologique en oxygène (DBO) et des exigences relatives à la toxicité des organismes aquatiques. La dégradation bactérienne intervenant dans le traitement secondaire a comme mandat de digérer la matière organique pouvant être toxique pour les organismes aquatiques. Ces micro-organismes vont utiliser l'azote et le phosphore comme nutriments pour leur métabolisme consommant ainsi une bonne partie des 109 kg de phosphate reçus. En effet, plusieurs systèmes de traitement secondaire des usines de pâtes et papiers sont en déficit de phosphore. On doit alors ajouter de l'acide phosphorique pour compenser ce déficit. En conséquence, la concentration de phosphate retrouvée à la sortie du traitement des effluents est relativement négligeable. La présence d'un système de traitement des effluents dans les usines de pâtes et papiers réduit considérablement le risque d'eutrophisation des cours d'eau.

CHAPITRE 6

CONCLUSIONS

Les résultats obtenus lors de la première partie de notre expérimentation indiquent que l'ajout de fibres fines, qu'elles soient d'origine mécanique ou thermomécanique, agit sur la consolidation de la feuille par son énergie spécifique de surface et lorsqu'on atteint 50 % d'ajout. Il y a perte de force de surface de la feuille par augmentation du potentiel peluchant. D'une manière générale, les échantillons de feuilles de PM contenant des fines d'origine mécanique ont une tendance au peluchage moindre que ceux d'origine thermomécanique et contenant des fines de PTM. L'ajout de fibres grossières R28 à faible potentiel de liaison et de glaise dans nos PTM a augmenté systématiquement le potentiel peluchant de la feuille.

Les additifs de contrôle de peluchage se sont avérés efficaces dans la réduction du potentiel peluchant de nos pâtes à forte tendance au peluchage dans les deux dosages préétablis soit 0,5 et 5 mg d'additif par gramme de pâte. L'ester de phosphate mono C18 et le MEP ont réduit le potentiel de peluchage des échantillons de PTM contenant 10% de fines ajoutées. L'amidon cationique liquide a réduit le potentiel de peluchage des échantillons de PTM contenant 10 % et 50 % de fines ajoutées. L'émulsion cire coagulant cationique n'a montré aucune efficacité dans la réduction du peluchage de nos mélanges de PTM.

6.1 Apports et retombées de la recherche

Au regard des résultats concernant l'évaluation des additifs antipeluchants, on peut souligner le fait qu'une réduction de 52 % par exemple, de la tendance au peluchage n'équivaut pas systématiquement à une réduction de 52 % des rejets de papiers. En effet, une réduction de cette nature est capable de faire modifier la classe d'une feuille de papier en la faisant passer de la catégorie acceptable à quasi-parfaite. Il n'y a qu'à penser aux cycles d'impression de certaines imprimeries. Une imprimerie dont le cycle

d'impression se situe aux alentours de 150 000 exemplaires et qui voyait apparaître des problèmes de peluchage après 100 000 copies est en mesure de pallier à ce problème par l'usage de l'ester de phosphate mono-C18 que nous avons développé. Il faut aussi mentionner le fait qu'une réduction de peluchage est synonyme de réduction de perte d'énergie, de pollution atmosphérique liée au transport, des effluents générés par la remise en pâte et le désencrage et de la pollution aux COV issues des produits de nettoyage.

6.2 Limites de la recherche

La première difficulté rencontrée durant cette étude était la multitude des paramètres évalués (peluchage, porosité, rugosité...) nous forçant ainsi à augmenter le nombre de nos échantillons à produire afin d'observer des résultats avec la plus faible marge d'erreur possible. Une autre difficulté était la capacité de pouvoir garantir un échantillonnage effectué en usine équivalent à l'échantillonnage effectué précédemment. Il s'agit là de faire allusion à des pâtes possédant les mêmes propriétés et faite dans les mêmes conditions que celles prélevées auparavant.

Finalement, concernant les analyses de peluchage, il y a eu quelques problèmes de répartition non uniforme des fibres arrachées à la surface de la feuille lors de l'application du rouleau de métal de 2.5 kg sur les formettes. Ceci s'est traduit par une difficulté dans la sélection de la zone à analyser destinée au logiciel d'analyse de peluchage.

6.3 Suggestions pour les recherches futures

Dans les travaux futurs, il serait souhaitable d'envisager des tests de peluchage offrant la capacité d'appliquer une force et une vitesse similaire sur tous les échantillons. Pour se faire, on pourrait avoir recours à un appareil d'analyse de peluchage à travers lequel les échantillons, lesquels introduits seraient soumis à la même force d'arrachage du ruban adhésif, et ce, à la même vitesse. Le matériel peluchant ayant évolué au fil des années, des recherches portant sur l'analyse du matériel arraché seraient aussi nécessaires afin de

pouvoir étudier les propriétés de ces fibres à faible potentiel de liaison comme la taille par exemple. Dans le but d'obtenir le papier offrant le meilleur rendement en terme de propriétés de surface, il serait envisageable de penser à mélanger les fines mécaniques et thermomécaniques. On pourrait également évaluer les fines mécaniques avec des échantillons de pâtes thermomécaniques et vice versa afin d'être capable de comparer l'effet de chaque classe de fibres dans la consolidation de la structure de la feuille. Le FQA nous renseigne sur des propriétés comme la longueur, largeur, courbure des fibres, etc., mais pas sur l'éventualité de certaines fibres de pelucher une fois présente dans la pâte. Il serait intéressant d'explorer la possibilité d'effectuer un test de PLPI dans le but de prédire la proportion de fibres susceptibles de pelucher à l'intérieur d'une pâte.

Ces avenues de recherches permettraient de doter le domaine des pâtes et papiers des meilleurs outils pour pouvoir affronter les défis environnementaux du recyclage de papier du 3^e millénaire.

BIBLIOGRAPHIE

1. Association canadienne de l'imprimerie, *Profil de l'industrie de l'imprimerie au Canada* (2005).
2. Smith, S., *The Print and Production Manual*, 10th ed., Pira International Ltd (2005)
3. Man Roland, *LITHOMAN – For commercial web offset in all format classes*, Dépliant publicitaire (2007).
4. Blayo, A., et Pineaux, B., *Les dépôts sur blanchets des rotatives de presse*, Papiers de Presse Informations, no 2091 (décembre 2006).
5. Sudarno, A., Gujjari, C., Rand, S., Janko, P., Batchelor W. and Banham, P., *Comparison of size distributions of lint particles from different printing operations*, Appita J. 59(5): 385-390 (2006).
6. Aspler, J., *Linting and Surface Contamination: Current Status*, Proc. Tech. Assoc. Graph. Arts TAGA 2003, Montréal QC, pp. 52-54 (2003).
7. Statistique Canada, CANSIM, tableaux 304-0014 et 304-0015, mise à jour du 2009-09-16.
8. Conseil canadien des ministres de l'environnement, *Code de pratique environnemental relativement à la réduction des composés organiques volatils dans l'industrie de l'imprimerie commerciale/industrielle*, Plan de gestion CCME, Projets V308 et V613 (1999).
9. Lafontaine M., Framboisier X., Morele Y., *Risques chimiques liés à l'impression offset*, Cahier de notes documentaires, INRS 1996, ND 2033, 64-96 (1996).
10. Services techniques et médicaux de l'INRS, Fiche toxicologique No 132 – Cahier de notes documentaires – Hygiène et sécurité au travail – No 178, 1er trimestre 2000 – Essence de Térébenthine.
11. Wood, J. R. and Karnis, A., *Linting propensity of mechanical pulps*, Pulp and Paper Can. 93 (7): 17-24 (1992).

12. Wood, J. R., Imada, S. E., Beaulieu, S. and Kerr, R. B., *Reduction of offset linting – A comparison of six mills, Part I. Pressroom effects*. Pulp and Paper Can. 96 (10): T344-T368 (1995).
13. Aspler, J., Middleton, S., Manfred, T., Laleg, M., Bégin, B. and Poirier, O., *Effectiveness of anti-linting additives in commercial pressroom trials*, Paprican Research Report 1789 (2006).
14. Mangin, P. J., Silvy, J. and De Grâce, J. H., *Offset linting studies: Part II: Further contribution to linting theories*, 5th International Printing Graphic Arts Conf., Vancouver BC, Proc. C, pp. 109-119 (1990).
15. Amiri R., Begin B., Deshaies S. and Mozaffari S., *Effects of wood and pulp quality on linting propensity*, Pulp and Paper Canada 105:T129-135 (2004).
16. Karnis, A., *The mechanism of fibre development in mechanical pulping*, J. Pulp Paper Sci. 20:J280-J288 (1994).
17. Miyanishi, T. and Miyagi, M., *The effects of fines on offset newsprint linting*, Tappi J. 75(5):75-80 (1992).
18. Crotogino, R. H., *Temperature-gradient calendering*, Tappi J. 65(10):97-101 (1982).
19. Waech T. G., *Lint Reduction by High Temperature Calendering*, Pulp and Paper Can. 93:T284-T287 (1992).
20. Karnis, A., *Effect of Wood Species and Process on Linting Propensity and Surface Roughening of Mechanical Pulps*, J. Pulp and Paper Science, 21:J321-329 (1995).
21. Lebel, R. G. and Peterson, R., *The Web Offset Operation and Linting ; Printing Press Variables Influence Linting Performance of Web Offset Printing*, Pulp Paper Can. 81:T350-T357 (1980).
22. Mangin, P. J., *A Critical Review of the Effect of Printing Parameters on the Linting Propensity of Paper*, J. Pulp Paper Sci. 17: J156-163 (1991).
23. Wood, J. R. McDonald, J. D. Ferry, P. Short, C. B. and Cronin, D. C., *The Effect of Paper Machine Forming and Pressing on Offset Linting*. Pulp Paper Can. 99:T350-T356 (1998).

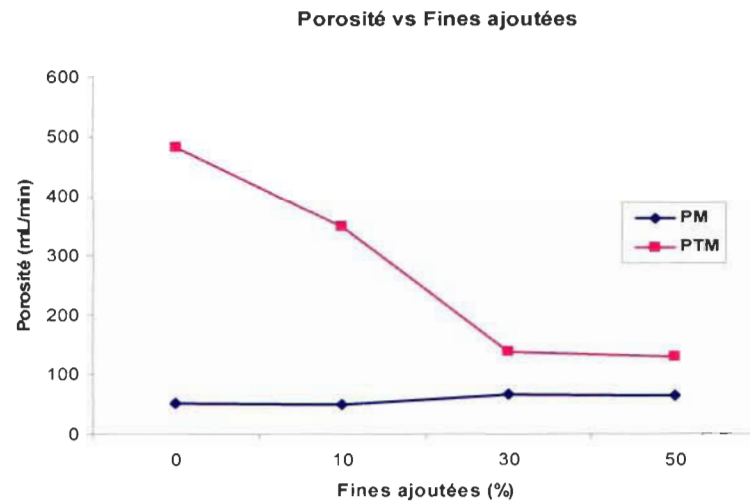
24. Mangin, P. J. and Silvy, J., *Fundamental Studies of Linting: Understanding Ink-Press-Paper Interactions Non-linearity*, TAGA Proceedings Technical Association of Graphic Arts, pp. 884-905 (1997).
25. Fetsko, J. M., Schaeffer, W. D. and Zettlemoyer, A. C., *Sources of Differences in Picking Results Among Presses*, 13th TAPPI Testing Conf., Philadelphia, Paper 1-6 (1962).
26. Stefan, M.J., *Versuche uber die scheinbare Adhesion*, *Sitzungsberichte der K. Akad. D. Wissensch. Math. Naturewiss*, 69(II) Abth.: 7-735 (1874)
27. Meret, R.G., *Surface Strength Testing Approach. Lint Testing: A Panel Discussion*, TAPPI Press Report 417, P.J. Mangin, Ed.: p. 5-10 (1984)
28. Meret, R.G., *Comparative Linting Characteristics of Two-Ply, 50 mils Thick Offset Blankets for the Apollo Press*, Data Reported to the CPPA/TS Printing and Graphic Arts Committee (1981)
29. Heintze, H.U., *Offset lint testing: An overview of printing options and issues*, *Pulp Paper Can* 107 (2): T30-33 (2006)
30. Herbert Holik, *Handbook of paper and board*, Weinheim : Wiley-VCH 505 p. (2006)
31. Brouillette, F., Chabot, B., Morneau, D. and Daneault, C., *A Lint testing methodology to evaluate new lint reduction additives in wood-containing paper manufacturing*, PAPTAC 91st Annual Meeting, p 761-766 (2005)
32. Brouillette, F., Chabot, B., Morneau, D. and Daneault, C., *A Lint testing methodology to evaluate new lint reduction additives in wood-containing paper manufacturing*, PAPTAC 91st Annual Meeting, p 761-766 (2005)
33. F. Brouillette, B. Chabot, D. Morneau and C. Daneault, *Evaluation of New Lint Reduction Additives in Wood-Containing Paper Manufacturing*, *Pulp and Paper Can.*, 107(2):T47-T50 (2006).
34. Technical Information, *AQUAMOL Lint Reduction Agent*, AQUAMOL Printability Program, Dépliant publicitaire, BIM KEMI
35. Sreekumar, J., Sain, M., Farnood, R. and Dougherty, W., *Styrene maleic anhydride imide resin (SMAI): a novel cationic additive in paper coating for ink-jet printing*, *Pulp and Paper Can.* 106:T67-T70 (2005).

36. Valton, E., Schmidhauser, J. and Sain, M., *Performance of Cationic Styrene Maleimide Copolymers in the Wet end of Papermaking*, Tappi Journal 3 (4):25-30 (2004).
37. Tappi Test Methods, Official Method T211 om-93, *Ash in wood, pulp and paperboard: combustion at 525°C*.
38. Daemen, J. M. H. and Dankelman, W., *Qualitative and Quantitative Determinations of Mono and Dialkylphosphoric Acids and their Salts by Gas Chromatography*, Journal of Chromatography 78 (65-66):281-291 (1973).
39. Tappi Test Methods, Official Method T480 om-99, *Specular gloss of paper and paperboard at 75 degrees*.
40. Tappi Test Methods, Official Method T555 om-99, *Roughness of paper and paperboard (Print-surf method)*.
41. Tappi Test Methods, Provisional Method T833 pm-94, *Test for interfiber bond using the internal bond tester*.
42. Tappi Test Methods, Official Method T558 om-97, *Surface wettability and absorbancy of sheeted materials using an automated contact angle tester*.
43. Brouillette, F., *Predicting the Relative Efficiency of Lint Control Strategies on Supercalendered Papers: Effect of Testing Conditions*, Prétirés de 2006, Tappi International Printing and Graphic Arts Conference, Cincinnati OH, USA (2006).
44. Leask, R.A. and Kocurek, M.J., *Pulp and Paper Manufacture Volume 2, Mechanical Pulping*, Joint Textbook Committee of the Paper Industry (TAPPI/CPPA) 287 p. (1987).
45. Pere, J., *Web-Offset Newsprint Evaluation of the Effect of Some Raw Material Components upon Printability and Linting*, Paperi ja Puu 9:473-480 (1978).
46. Skowronski, J., *Surface Roughening of Pre-Calendered Basesheets during Coating*, J. Pulp and Paper Science 16:J102-J110 (1990).
47. Ministère de l'économie, de l'industrie et de l'emploi de la France, http://www.minefe.gouv.fr/fonds_documentaire/daj/guide/gpem/papier_eco-responsable/1.3.pdf (consulté le 24 septembre 2009).
48. Ministère Environnement Canada, *Tendance historique des émissions d'oxydes d'azote au Canada en tonnes (année 2006)*,

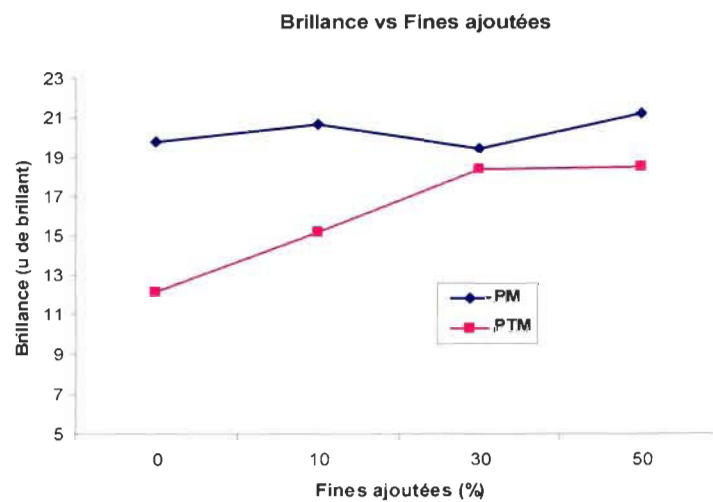
http://ec.gc.ca/pdb/websol/emissions/ap/ap_result_f.cfm?year=1985-2007&substance=nox&location=CA&submit=Search (consulté le 15 février 2009).

ANNEXE I

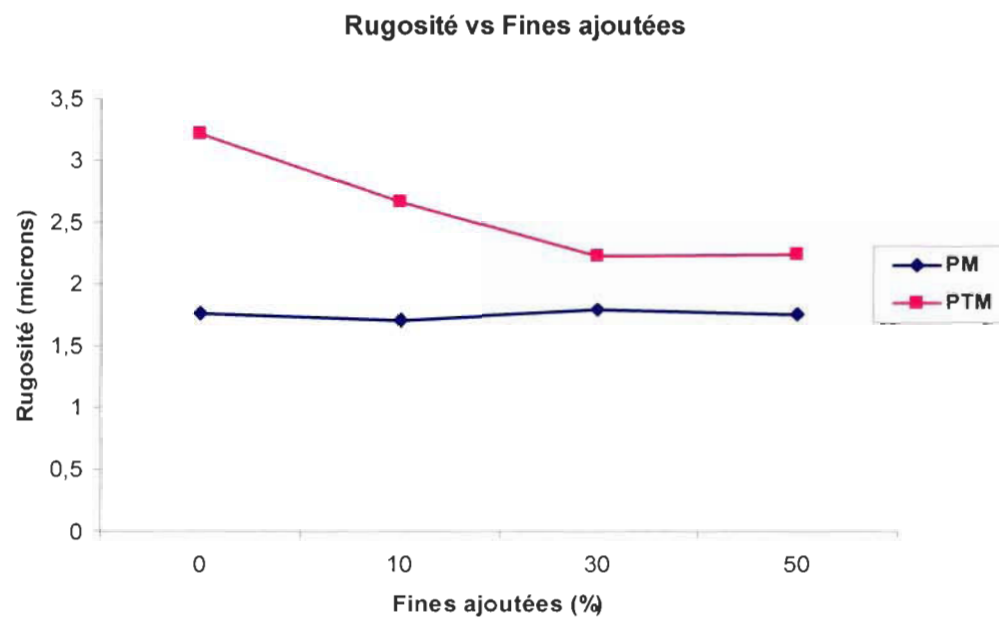
PRODUCTION D'ÉCHANTILLONS À POTENTIEL PELUCHANT ÉLEVÉ



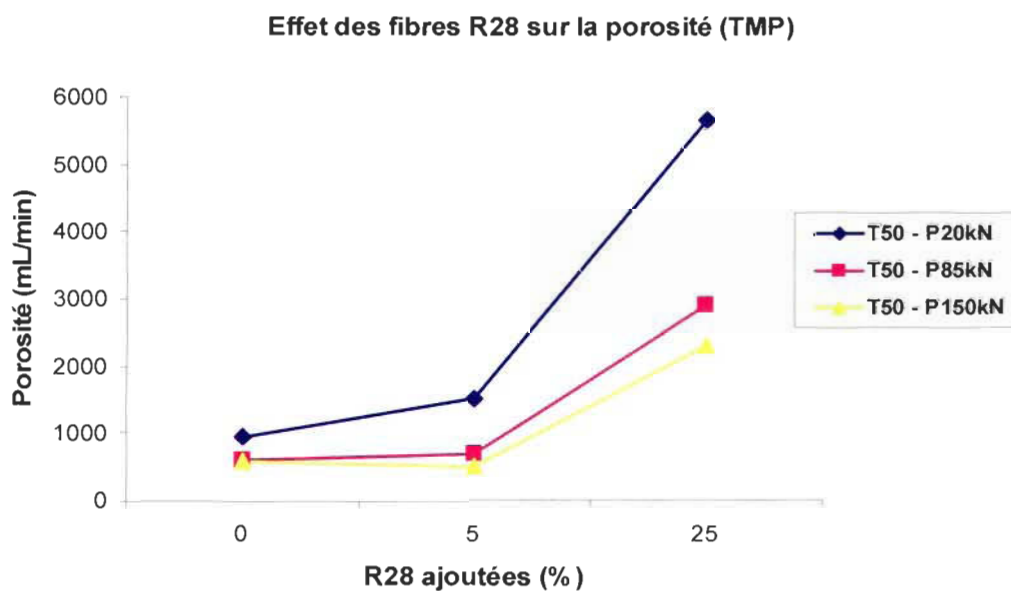
A. Effet des fines PM et PTM ajoutées sur la porosité (Calandrage : $T=75^{\circ}\text{C}$ et $P=85\text{ kN/m}$)



B. Effet des fines PM et PTM ajoutées sur la brillance (calandrage : $T=50^{\circ}\text{C}$ et $P=20\text{ kN/m}$)

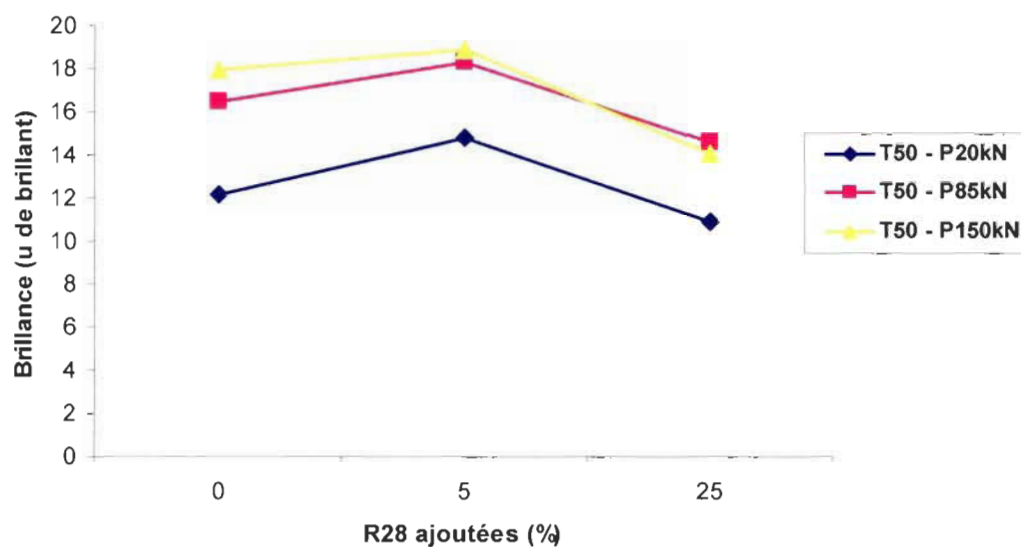


- C. Effet des fines PM et PTM ajoutées sur la rugosité (Calandrage : $T=75^{\circ}\text{C}$ et $P=85\text{ kN/m}$)**



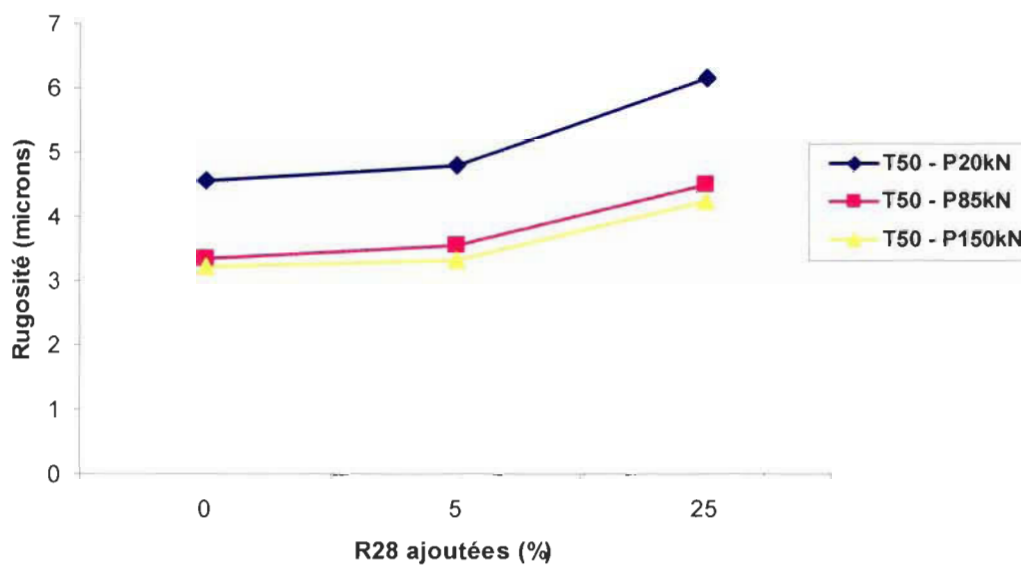
- D. Effet des fibres R28 ajoutées sur la porosité à différentes pressions de calandrage (Calandrage : $T=50^{\circ}\text{C}$)**

Effet des fibres R28 sur la brillance

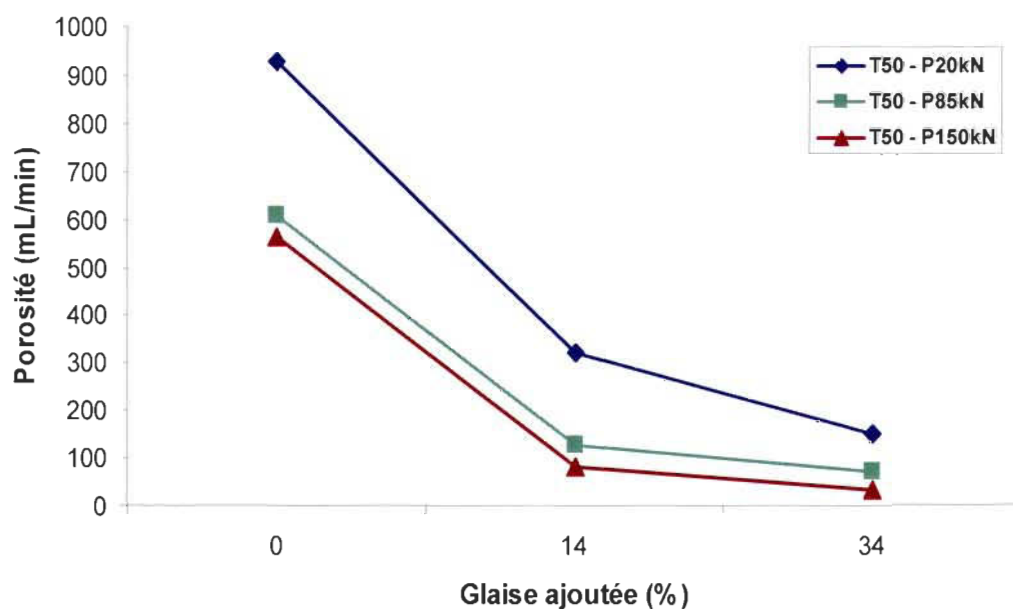


E. Effet des fibres R28 ajoutées sur la brillance à différentes pressions de calandrage (Calandrage : $T=50^{\circ}\text{C}$)

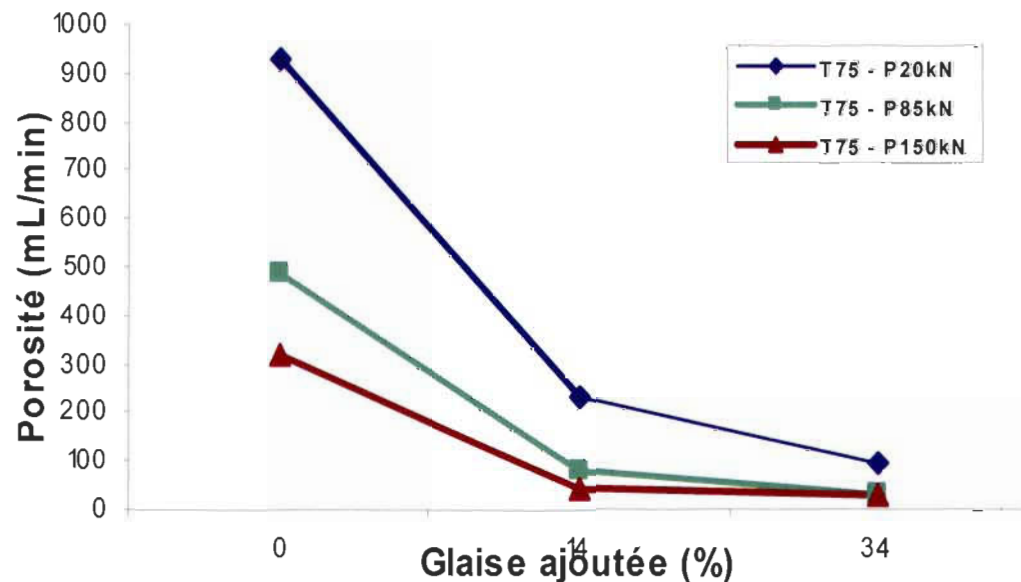
Effet des fibres R28 sur la rugosité



F. Effet des fibres R28 ajoutées sur la rugosité à différentes pressions de calandrage (Calandrage : $T=50^{\circ}\text{C}$)

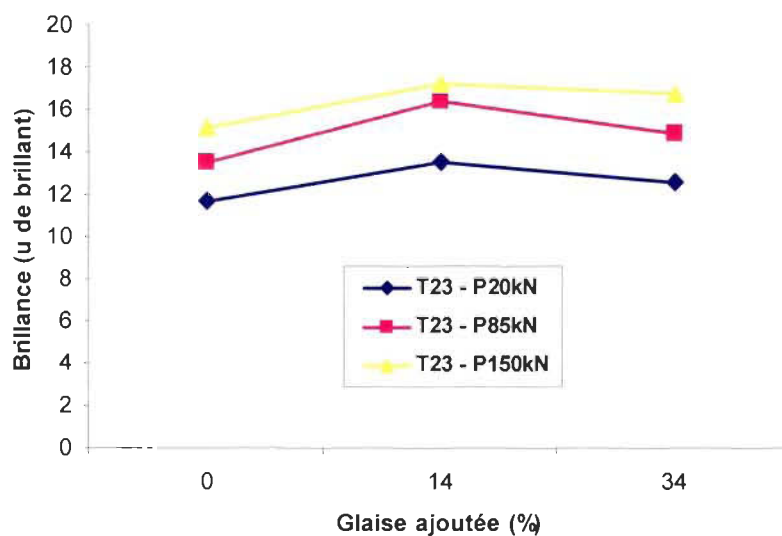


G. Effet de la glaise ajoutée sur la porosité à différentes pressions de calandrage (Calandrage : T=50°C)



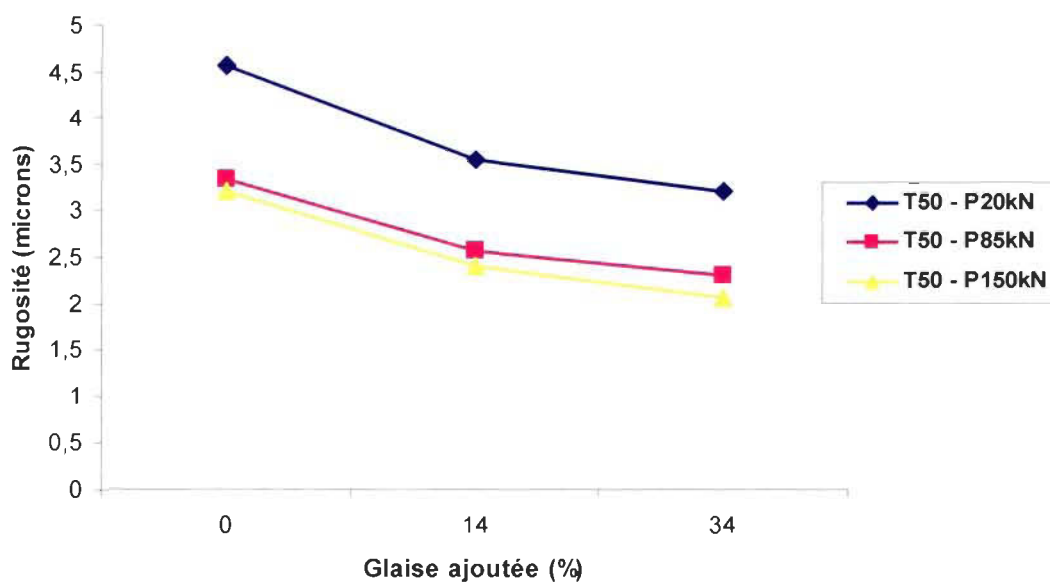
H. Effet de la glaise ajoutée sur la porosité à différentes pressions de calandrage (Calandrage : T=75°C)

Effet de la Glaise sur la brillance



I. Effet de la glaise ajoutée sur la brillance à différentes pressions de calandrage (Calandrage : T=23°C)

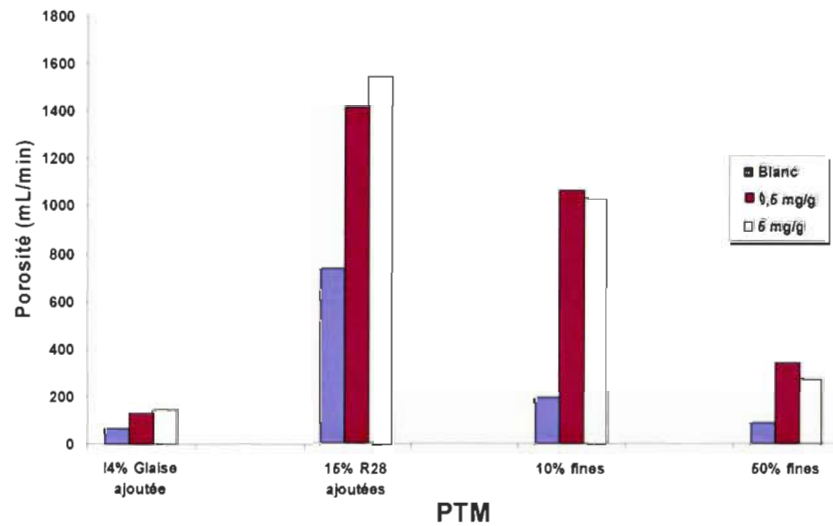
Effet de la Glaise sur la rugosité



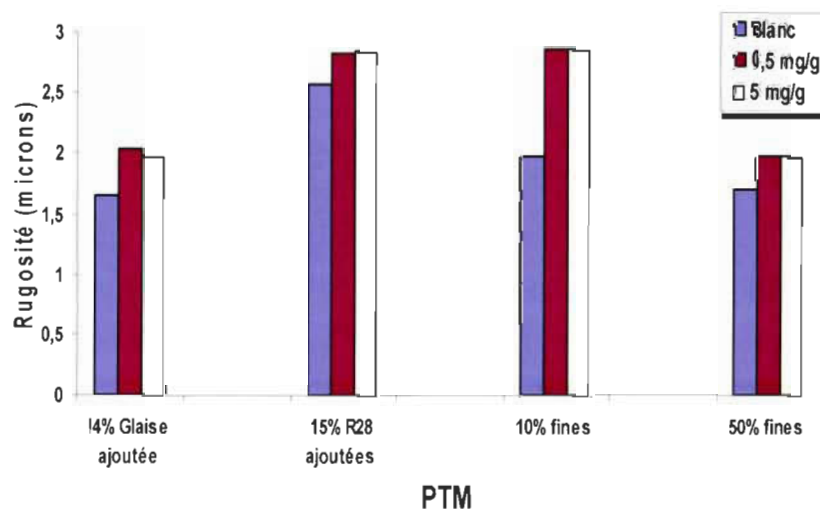
J. Effet de la glaise ajoutée sur la rugosité à différentes pressions de calandrage (Calandrage : T=50°C)

ANNEXE II

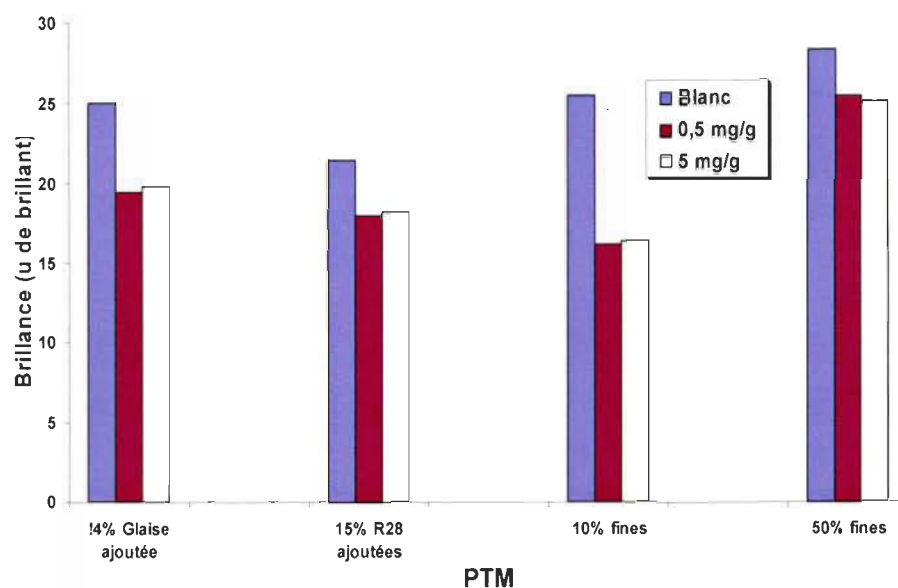
ÉVALUATION DES ADDITIFS ANTIPELUCHANTS



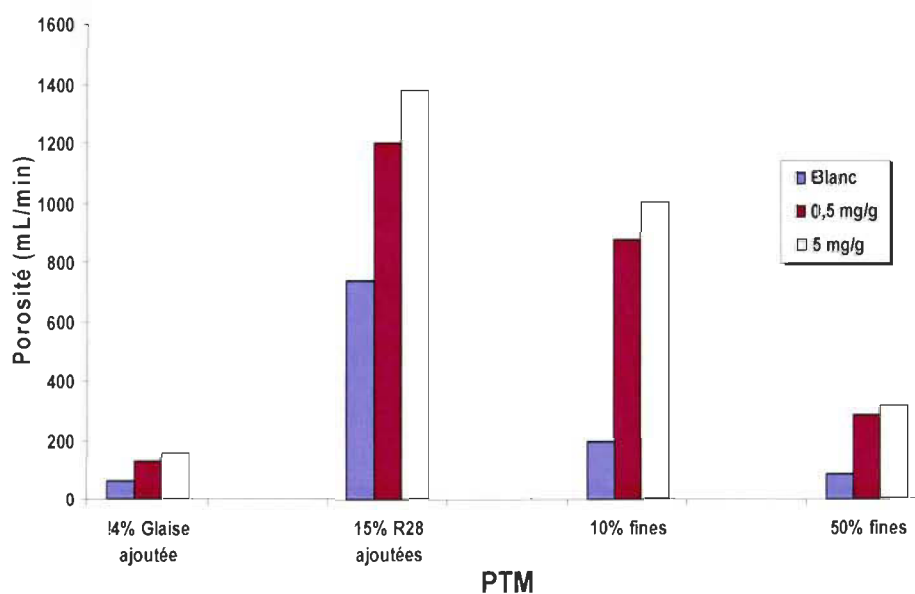
K. Porosité en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'ester de phosphate mono-C18



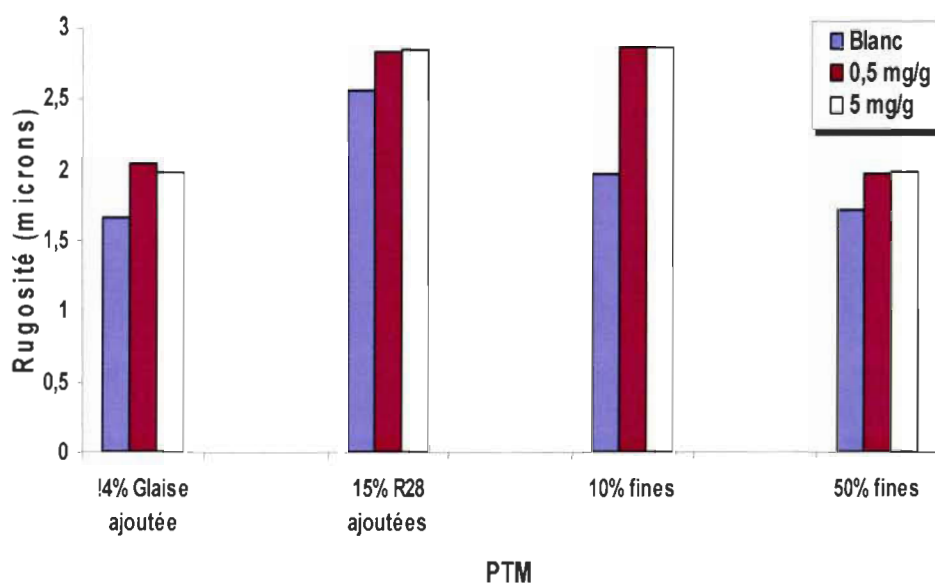
L. Rugosité en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'ester de phosphate mono-C18



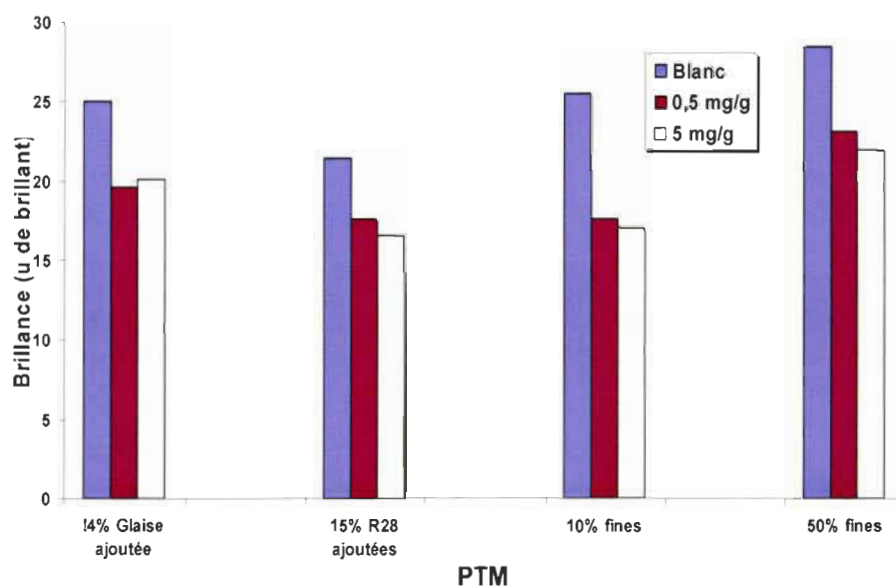
M. Brillance en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'ester de phosphate mono-C18



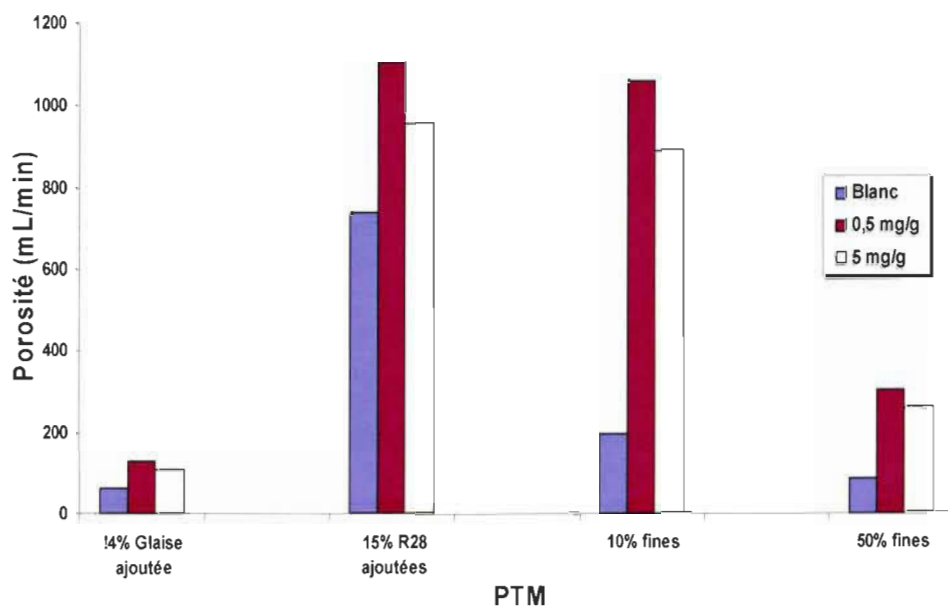
N. Porosité en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'un mélange d'esters de phosphate



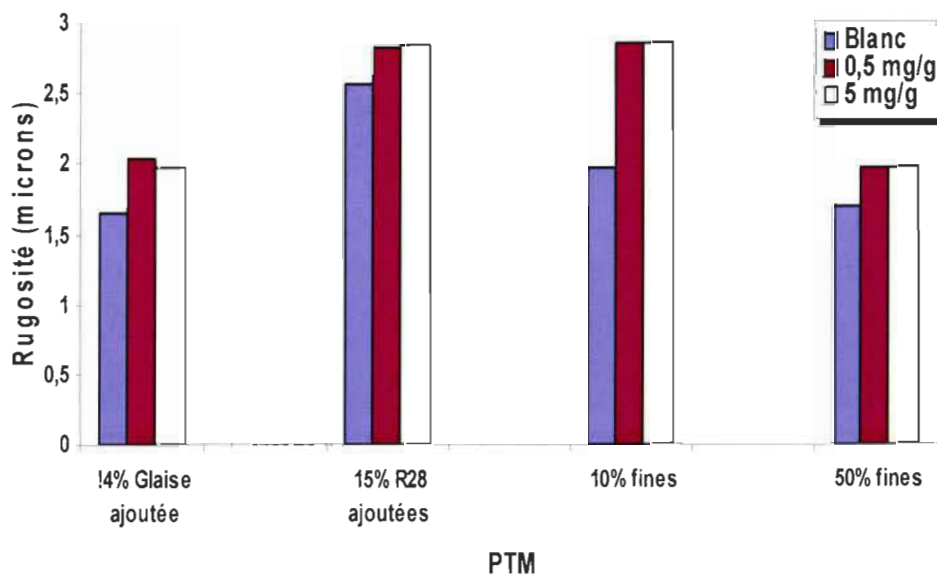
O. Rugosité en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'un mélange d'esters de phosphate



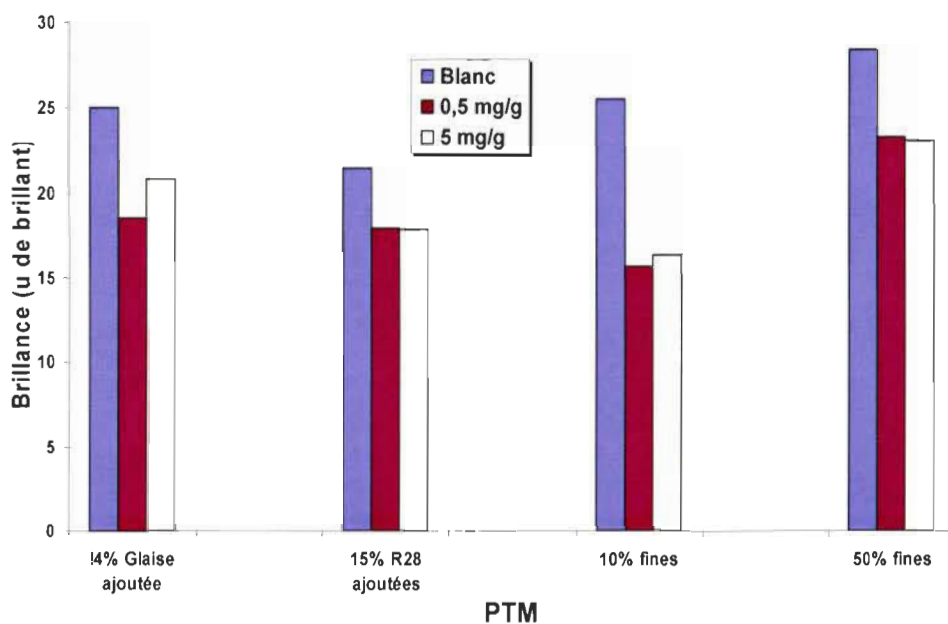
P. Brilliance en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'un mélange d'esters de phosphate



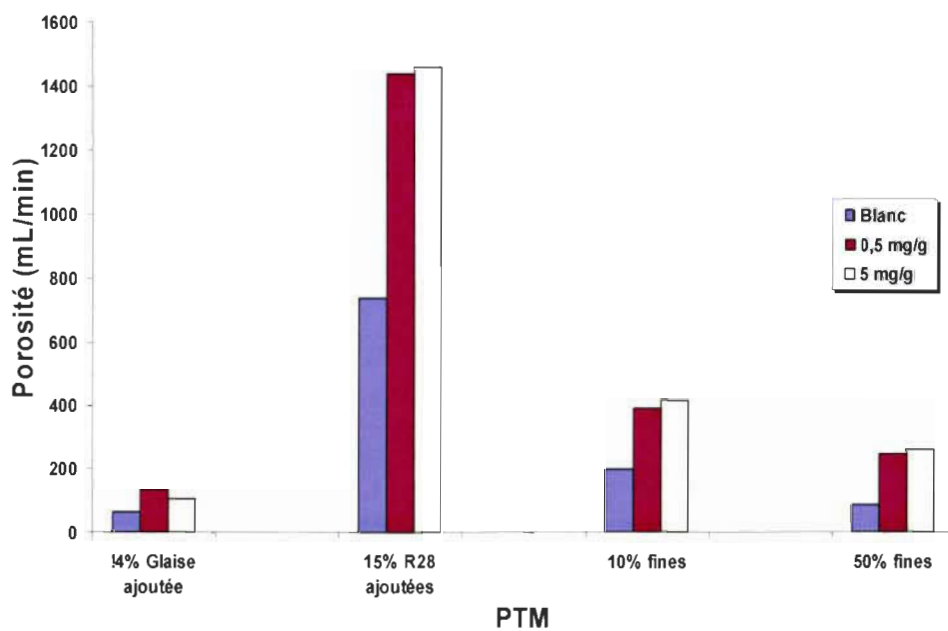
Q. Porosité en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'un amidon cationique liquide



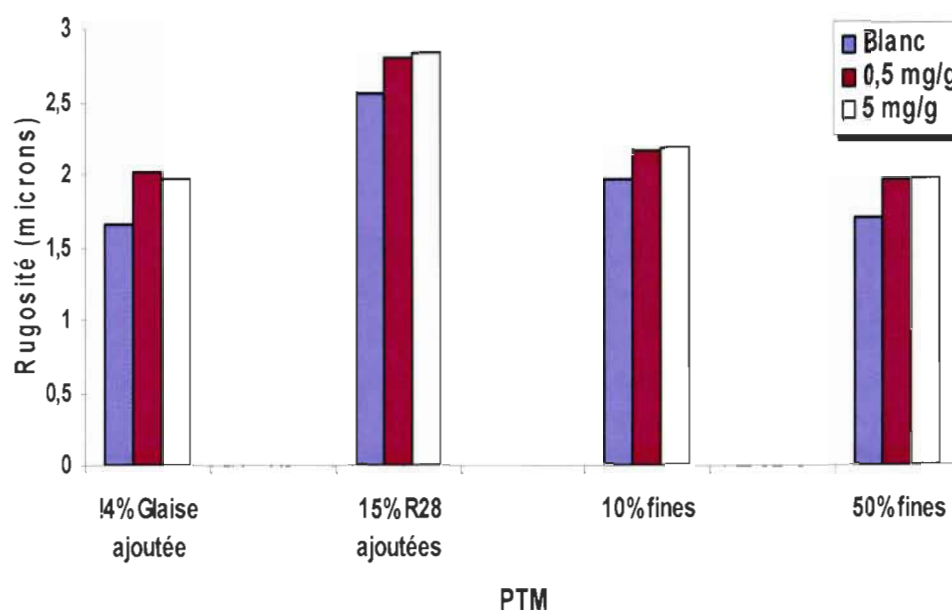
R. Rugosité en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'un amidon cationique liquide



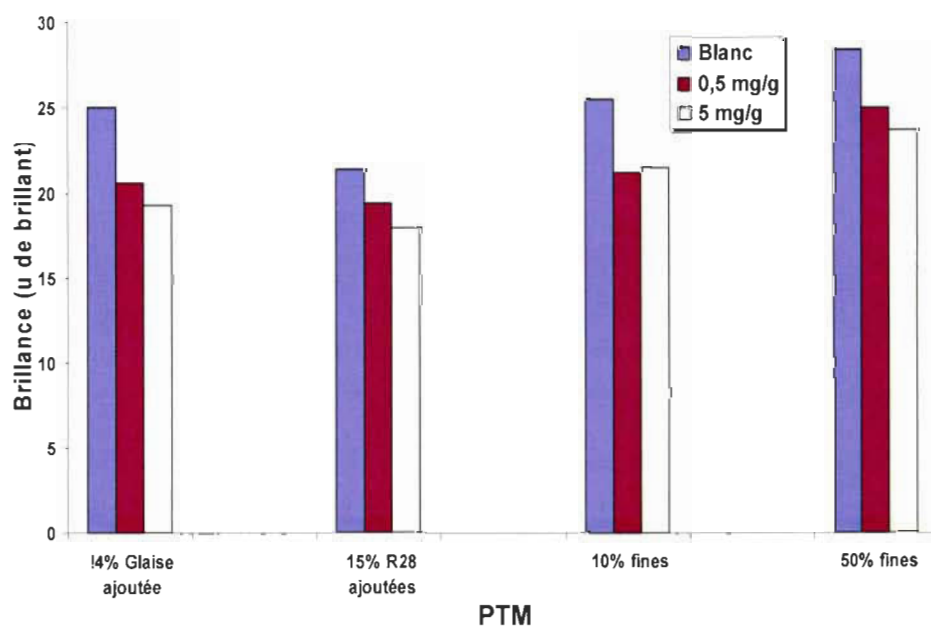
S. Brillance en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'un amidon cationique liquide



T. Porosité en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'une ECCC



U. Rugosité en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'une ECCC



V. Brilliance en fonction des différents mélanges aux dosages préétablis pour des échantillons de PTM en présence d'une ECCC